

**Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»
Механіко-машинобудівний інститут**

В.В. Джемелінський, Д.А. Лесик

ОСНОВИ ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

*НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК
(електронне видання)*

2017 Київ

Джемелінський В.В., Лесик Д.А. Основи професійної діяльності (електронне видання). – К., НТУУ «КПІ», 2017. – 177 с.

*Рекомендовано Методичною радою ММІ НТУУ «КПІ»
(протокол №9 від 16 квітня 2017 р.)*

Навчальний посібник «Основи професійної діяльності» належить до циклу професійно-складової спеціалізації лазерна техніка та процеси фізико-технічної обробки матеріалів, предметом якої є ознайомлення з основами виробничого і технологічного процесів обробки матеріалів з використанням сучасних технологій та обладнання з числовим програмним керуванням, а також набуття навиків у підготовці вихідних даних для програм керування. В початковому посібнику приведено нові науково-технологічні методи обробки, які базуються на використанні фундаментальних науці явищ – фізичних, хімічних, електричних. До таких методів відносяться оздоблювально-зміцнювальна обробка поверхневим пластичним деформуванням, електроерозійна, електронно-променева, ультразвукова, лазерна, плазмова, магнітна, хімічна та інш. Навчальний посібник призначений для студентів бакалаврату напряму підготовки: «Прикладна механіка 131».

Укладачі: В.В. Джемелінський, кандидат технічних наук, професор
Д.А. Лесик, кандидат технічних наук, асистент

Відповідальний редактор: Л.Ф. Головка, доктор технічних наук, професор

Рецензент: В.С. Майборода, доктор технічних наук, професор

Комп'ютерна верстка: авторська

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ БАКАЛАВРАТУ НАПРЯМКУ ПІДГОТОВКИ: «ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА» (131).....	7
РОЗДІЛ 1 ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ.....	16
1.1 Терміни та їх визначення.....	16
1.2 Етапи виготовлення виробів машинобудування.....	18
1.2.1 Виробнича структура машинобудівного підприємства.....	20
1.2.2 Заготовчі операції.....	23
1.3 Послідовність зміни поверхневого шару при різних методах обробки.....	29
1.4 Вихідні дані для проектування технологічного процесу.....	34
1.5 Класифікація засобів вимірювання та порядок вимірювання лінійних величин, засоби для вимірювання.....	36
1.6 Основні запитання.....	44
РОЗДІЛ 2 ОСНОВИ РОЗРОБКИ КЕРУЮЧИХ ПРОГРАМ ДЛЯ ОБЛАДНАННЯ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ.....	45
2.1 Основи програмування на верстатах з числовим програмним керуванням.....	45
2.2 Визначення параметрів програмування кола та особливості фрезерування кола і канавок.....	54
2.3 Складання програми для обробки зовнішнього контуру деталей та свердління.....	64
2.4 Будова та особливості керування фрезерного верстата з числовим програмним керуванням моделі «DYNAMYTE 2800».....	68
2.5 Будова та особливості керування токарного верстата з числовим програмним керуванням моделі «ORAC MBC 84».....	72

2.6 Інструменти та пристрої для фрезерних та токарних верстатів з числовим програмним керуванням	78
2.6.1 Різальні інструменти для фрезерної обробки.....	78
2.6.2 Пристрої для фрезерної обробки.....	83
2.6.3 Різальні інструменти для токарної обробки.....	87
2.6.4 Пристрої для токарної обробки.....	90
2.7 Основні запитання.....	92
РОЗДІЛ 3 МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....	93
3.1 Основні відомості про електрофізичні та електрохімічні методи обробки металевих деталей.....	93
3.1.1 Обробка деталей лазерним променем.....	95
3.1.2 Електронно-променева обробка.....	104
3.1.3 Плазмова обробка деталей.....	106
3.1.4 Електроерозійна обробка.....	111
3.1.5 Електроконтактне зміцнення.....	115
3.1.6 Суть методу електроіскрового зміцнення.....	117
3.2 Основні поняття про поверхневе пластичне деформування.....	119
3.2.1 Порівняльний аналіз та області застосування різних методів поверхнево-пластичного деформування.....	121
3.2.2 Статичні та динамічні методи зміцнення поверхнево-пластичним деформуванням.....	125
3.2.3 Відцентрова обробка.....	127
3.2.4 Виглажування.....	129
3.2.5 Ультразвукове зміцнення.....	134
3.2.6 Віб्रोабразивна обробка.....	139
3.2.7 Методи очисної та зачисної обробки.....	142
3.3 Основні поняття нанотехнології.....	151
3.4 Основні запитання.....	157
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	159
ДОДАТКИ.....	162

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЧПК – числове програмне керування
ЄКТС – European Credit Transfer and Accumulation System
МОР – мастильно-охолоджувальна речовина
ISO – міжнародна організація по стандартизації
КП – керуюча програма
СПП – система підготовки програми
СТП – система технологічної підготовки
ЗП – зчитувальний пристрій
ЦМ – цільовий механізм
ДЗВ – датчик зворотного зв'язку
ЕОМ – електронно-обчислювальна машина
ГВС – гнучка виробнича ситема
ЛО – лазерна обробка
ППД – поверхнево-пластична деформація
УЗО – ультразвукова обробка
ЕЕО – електроерозійна обробка
Е – електрод
ЕІ – електрод-інструмент
ЕІЛ – електроіскрове легування
ОК – обкочування кульками
САО – струминно-абразивна обробка
МАО – магнітно-абразивна обробка
МАП – магнітно-абразивне полірування
РВЕ – робота виходу електрону

ВСТУП

Сучасне машинобудівне виробництво в значній мірі залежить від новітніх методів обробки матеріалів з використання високих технологій, рівень яких визначається інтенсивністю виробничих процесів та їх науковим узагальненням з встановленням закономірностей в технології обробки та складання.

Новими науковими технологічними методами обробки є методи, які базуються на використанні фундаментальних науці явищ – фізичних, хімічних, електричних. До таких методів відносяться оздоблювально-зміцнювальна обробка поверхневим пластичним деформуванням, електроерозійна, електронно-променева, ультразвукова, лазерна, магнітна, хімічна та інш.

До комбінованих (гібридних) методів обробки відносяться: електро-механічна, термо-механічна, хіміко-механічна, фізико-хімічна, механо-фізико-хімічна, тобто методи, які базуються на використанні двох і більше видів енергій (фізичних, хімічних, електричних). Ці методи дозволяють економити дорогі матеріали і підвищувати довговічність деталей машин.

До технологічних методів підвищення якості поверхневого шару деталей машин відносяться різні методи обробки, які дозволяють автоматично змінювати умови при обробці. Це точіння на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК) зі зміною швидкості і подачі, оздоблювально-зміцнювальні методи поверхневого пластичного деформування на верстатах з ЧПК за рахунок зміни зусилля, швидкості і подачі. Це електромеханічна обробка за рахунок зміни сили струму.

Використання високоточних прецизійних нанотехнологій дозволяє забезпечити точність обробки порядку ангстрема і утримувати поверхню з точністю нанометра, а нова технологія виготовлення деталей без зняття припуску шляхом їх вирощування дозволяє значно скоротити час, зокрема при виготовленні моделей.

**ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ
БАКАЛАВРАТУ НАПРЯМКУ ПІДГОТОВКИ:
«ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА» (131)**

1. Загальна характеристика

<i>Рівень вищої освіти</i>	Перший (бакалаврський) рівень
<i>Ступінь, що присвоюється</i>	Бакалавр
<i>Назва галузі знань</i>	13 Механічна інженерія
<i>Назва спеціальності</i>	131 Прикладна механіка
<i>Обмеження щодо форм навчання</i>	Без обмежень
<i>Кваліфікація освітня, що присвоюється</i>	Бакалавр з прикладної механіки
<i>Кваліфікація в дипломі</i>	Бакалавр з прикладної механіки
<i>Опис предметної області</i>	<p><i>Теоретичний зміст предметної області:</i> засоби, способи і методи створення механізмів, машин, конструкцій та удосконалення технологічного середовища</p> <p><i>Цілі навчання:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - розробка і удосконалення конструкцій механізмів і машин, - розробка і удосконалення технологічних процесів; - створення і застосування методів проектування, математичного, фізичного і комп'ютерного моделювання механізмів, машин, конструкцій і технологічних процесів. <p><i>Об'єкти вивчення та діяльності:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - механізми, машини, конструкції і технологічні процеси їх виготовлення; - засоби і методи випробувань та контролю якості продукції; - нормативно-технічна і планова документація, системи стандартизації і сертифікації. <p><i>Методи, засоби та технології:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - стандартні методи розрахунку і проектування механізмів, машин, конструкцій та технологічних процесів їх виготовлення; - сучасні технології CAD/CAM/CAE проектування. <p><i>Інструменти та обладнання:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - основне і допоміжне обладнання, засоби механізації, автоматизації і управління виробництвом; - засоби технологічного, інструментального, метрологічного, діагностичного, інформаційного і управлінського забезпечення виробничих процесів
<i>Академічні права випускників</i>	Продовження освіти за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

4. Визначення

У цьому стандарті використано терміни та відповідні визначення, що подані у Законі України «Про вищу освіту» та Національному освітньому глосарію: вища освіта.

5. Позначення і скорочення

У цьому стандарті використані наступні позначення і скорочення:

– ЄКТС (European Credit Transfer and Accumulation System) – Європейська кредитна трансферно-накопичувальна система.

6. Обсяг кредитів ЄКТС, необхідний для здобуття відповідного ступеня вищої освіти

Обсяг кредитів ЄКТС, необхідний для здобуття ступеня бакалавра, дорівнює 240 кредитів ЄКТС на базі повної загальної середньої освіти з терміном навчання 11 років.

7. Компетентності випускника та нормативний зміст підготовки

Даний Стандарт передбачає підготовку фахівців зі ступенем вищої освіти бакалавра і має за мету:

а) формування інтегральної компетентності – здатності розв’язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми у певній галузі професійної діяльності або у процесі навчання, що передбачає застосування певних теорій та методів відповідної науки і характеризується комплексністю та невизначеністю умов;

б) формування загальних компетентностей:

- системних;
- інструментальних;
- соціально-особистісних;

в) формування професійних за видами діяльності:

- проектно-конструкторська;
- виробничо-технологічна;
- організаційно-управлінська;
- науково-дослідна.

7.1. Системні компетентності та нормативний зміст підготовки

<i>Код</i>	<i>Системні компетентності</i>	<i>Нормативний зміст підготовки</i>
СК-1	Здатність вчитися, здобувати нові знання, уміння, у тому числі в галузі, відмінної від професійної.	ЗНАННЯ <ul style="list-style-type: none"> – способів і методів навчання; – методів самоосвіти; – основ наукової та дослідницької діяльності. УМІННЯ <ul style="list-style-type: none"> – засвоювати та реалізовувати наукові та культурні досягнення світової цивілізації, проникати в сутність явищ і процесів реального світу, свідомо використовувати наукові знання у пізнавальній та професійній діяльності; – адаптуватися до зростаючих потоків інформації, зокрема й як наслідків науково-технічного прогресу, розуміти необхідність професійної мобільності; – визначати та усвідомлювати межі своїх знань, визнавати й аналізувати помилки, у тому числі і власні, критично ставитися до тенденційної інформації; – оцінювати й обґрунтовано обирати форми підвищення власної кваліфікації; – уміння будувати безконфліктні стосунки.
СК-2	Здатність застосовувати професійні знання й уміння на практиці	
СК-3	Здатність гнучко адаптуватися до різних професійних ситуацій, проявляти творчий підхід, ініціативу	
СК-4	Здатність критично оцінювати й переосмислювати накопичений досвід (власний і чужий), аналізувати свою професійну й соціальну діяльність	
СК-5	Здатність вести дослідницьку, інноваційну, реінжинірингову, проектну та конструкторську діяльність, включаючи аналіз проблем, постановку цілей і завдань, вибір способу й методів реалізації та оцінки якості	
СК-6	Здатність організовувати свою діяльність, працювати автономно та у команді	

7.2. Інструментальні компетентності та нормативний зміст підготовки

<i>Код</i>	<i>Інструментальні компетентності</i>	<i>Нормативний зміст підготовки</i>
ІК-1	Здатність вирішувати проблеми в професійній діяльності на основі аналізу й синтезу	<p>ЗНАННЯ</p> <ul style="list-style-type: none"> – системних наук, необхідних для засвоєння загально-професійних дисциплін; – фундаментальних розділів математики, в обсязі, необхідному для володіння математичним апаратом системних наук; – базові знання в галузі інформатики й сучасних інформаційних технологій; – методів та правил роботи з комп'ютером, використання графічних систем обробки даних, мультимедійної техніки та роботи з інтернет-ресурсами; – законів, методів та правил управління інформацією та роботи з документами; – письмової та усної іноземної мови; – методів та правил економічних розрахунків; – основ екології та безпеки життєдіяльності; – основ філософії, логіки, психології, культурології, етики та естетики, педагогіки, соціології, екології та безпеки життєдіяльності, що сприяють розвитку загальної культури й соціалізації особистості, спрямовують її до етичних цінностей. <p>УМІННЯ</p> <ul style="list-style-type: none"> – критично осмислювати основні теорії, принципи, методи і поняття у навчанні та професійній діяльності; – розв'язувати складні непередбачувані задачі і проблеми у спеціалізованих сферах професійної діяльності та/або навчання, що передбачає збирання та інтерпретацію інформації (даних), вибір методів та інструментальних засобів, застосування інноваційних підходів; – враховувати при підготовці управлінських рішень особливості культури, етики, віросповідання, психології особистості членів колективу.
ІК-2	Здатність працювати з інформацією: знаходити, оцінювати й використовувати інформацію з різних джерел, необхідну для рішення наукових і професійних завдань	
ІК-3	Здатність використовувати у професійній діяльності базові знання у галузі природничих, соціально-гуманітарних та економічних наук	
ІК-4	Здатність грамотно будувати комунікацію, виходячи із цілей і ситуації спілкування	

7.3. Соціально-особистісні компетентності та нормативний зміст підготовки

Код	Соціально-особистісні компетентності	Нормативний зміст підготовки
СОК-1	Здатність відповідально приймати рішення з урахуванням соціальних, і етичних цінностей та правових норм.	ЗНАННЯ – культурних досягнень світової цивілізації; – загальнолюдських моральних норм і цінностей; – психологічних аспектів поведінки та мотивації людських вчинків. УМІННЯ – реалізувати відносини відповідальності за допомогою сукупності етичних, правових та економічних норм у їх взаємозв'язку; – створювати та підтримувати гармонійну мережу ділових та особистісних контактів; – сприяти зміцненню моральних засад суспільства; – чітко, послідовно та логічно висловлювати свої думки та переконання; – орієнтуватись у глобальних проблемах економічного розвитку світових господарських зв'язків, інтеграції України у систему міжнародного поділу праці; – критично оцінювати політичні, економічні, екологічні, культурні події та і явища; – зберігати трудову активність в екстремальних ситуаціях, розвивати власну стресовитривалість; – розвивати лідерський потенціал, підприємливість і вміння йти на виправданий ризик.
СОК-2	Здатність грамотно будувати комунікацію, виходячи із цілей і ситуації спілкування	
СОК-3	Здатність здійснювати виробничу або прикладну діяльність у міжнародному середовищі	
СОК-4	Здатність усвідомлювати й ураховувати соціокультурні розходження в професійній діяльності	
СОК-5	Здатність до усвідомленого визначення цілей у професійному й особистісному розвитку	
СОК-6	Здатність до соціальної взаємодії, до співробітництва й розв'язання конфліктів	
СОК-7	Здатність підтримувати загальний рівень фізичної активності й здоров'я для ведення активної соціальної й професійної діяльності	
СОК-8	Здатність розуміти й аналізувати світоглядні, соціально й особистісне значимі проблеми й процеси, що відбуваються в суспільстві	
СОК-9	Здатність орієнтуватися в системі загальнолюдських цінностей і цінностей світової й вітчизняної культури, розуміти значення гуманістичних цінностей для збереження й розвитку сучасної цивілізації	

7.4. Професійні компетентності та нормативний зміст підготовки

Код	Професійні компетентності	Нормативний зміст підготовки
Проектно-конструкторська діяльність		
ПК-1	Здатність застосовувати стандартні методи розрахунку при проектуванні деталей, вузлів і конструкцій	ЗНАННЯ <ul style="list-style-type: none">– загальних принципів проектування механізмів, машин, конструкцій;– основ конструювання деталей машин та елементів конструкцій;– основ програмування для розв’язання інженерних задач;– вимог чинних державних та міжнародних стандартів, методів і засобів проектування машин та технологій. УМІННЯ <ul style="list-style-type: none">– готувати вихідні дані для обґрунтування технічних рішень, застосовувати стандартні методики розрахунків при проектуванні або виборі обладнання;– виконувати розрахунки параметрів об’єктів проектування і показників працездатності механізмів, машин, конструкцій;– використовувати засоби машинної графіки для виконання креслень та тривимірного моделювання;– визначати чинники, які зумовлюють економічний ефект та вихідні дані для його розрахунку;– аналізувати варіанти проектно-конструкторських рішень, методів та технології їх реалізації за показниками техніко-економічної ефективності.
ПК-2	Здатність брати участь у роботах з розрахунку й проектуванні деталей і вузлів різних машин, механізмів та конструкцій відповідно до технічних завдань з використанням стандартних методик і сучасних CAD/CAM/CAE систем	
ПК-3	Здатність за типовими методиками розробляти робочу проектну й технічну документацію, оформляти закінчені проектно-конструкторські роботи з перевіркою відповідності розроблених проектів і технічної документації стандартам, технічним умовам та іншим нормативним документам	
ПК-4	Здатність здійснювати попереднє техніко-економічне обґрунтування проектних рішень	
ПК-5	Здатність здійснювати патентні дослідження з метою забезпечення патентної чистоти нових проектних рішень і їхньої патентоспроможності з визначенням показників технічного рівня проєктованих виробів	
ПК-6	Здатність застосовувати типові методи контролю якості виробів і об’єктів у сфері професійної діяльності	
ПК-7	Здатність обирати типові складові елементи обладнання при проектуванні оснащення для реалізації технологічних процесів	
Виробничо-технологічна діяльність		
ПК-8	Здатність забезпечувати технологічність виробів і процесів	ЗНАННЯ <ul style="list-style-type: none">– прогресивних методів експлуатації

<i>Код</i>	<i>Професійні компетентності</i>	<i>Нормативний зміст підготовки</i>
	їхнього виготовлення, контролювати дотримання технологічної дисципліни при виготовленні виробів	технологічного обладнання при виготовленні механізмів, машин, конструкцій;
ПК-9	Здатність забезпечувати технічне оснащення типових робочих місць із розміщенням технологічного обладнання	– фізико-механічних та експлуатаційних властивостей сучасних матеріалів;
ПК-10	Здатність обирати оптимальні типові технологічні процеси при виготовленні виробів та конструкцій	– прогресивних конструкцій обладнання, технології виробництва, методів виготовлення виробів, конструкцій та експлуатаційних характеристик
ПК-11	Здатність обирати засоби механізації і автоматизації технологічних процесів	оброблювального і вимірювального інструменту;
ПК-12	Здатність брати участь у роботах з впровадження й освоєння технологічних процесів у ході підготовки виробництва нової продукції, перевіряти якість монтажу й налагодження при випробуваннях і здачі в експлуатацію нових зразків виробів, вузлів, деталей і конструкцій	– методів та правил технічної діагностики, експлуатації та обслуговування технологічного обладнання.
ПК-13	Здатність перевіряти технічний стан і залишковий ресурс типового технологічного обладнання, організовувати профілактичний огляд і поточний ремонт обладнання на підставі нормативних технічних документів	УМІННЯ
ПК-14	Здатність впроваджувати заходи щодо профілактики виробничого травматизму й професійних захворювань, контролювати дотримання екологічної безпеки проведених робіт	– проектувати прості технологічні процеси обробки;
ПК-15	Здатність вибирати основні й допоміжні матеріали та способи реалізації типових технологічних процесів і застосовувати належні методи експлуатації технологічного обладнання при виготовленні продукції	– використовувати математичні методи в технології та проектуванні механізмів, машин, конструкцій;
ПК-16	Здатність застосовувати стандартизовані методи випробувань при визначенні фізико-механічних властивостей використовуваних матеріалів і технологічних показників готових виробів та конструкцій	– перевіряти технічний стан та залишковий ресурс технологічного обладнання;
		– контролювати дотримання вимог безпеки праці, санітарно-гігієнічних вимог на робочому місці.

<i>Код</i>	<i>Професійні компетентності</i>	<i>Нормативний зміст підготовки</i>
ПК-17	Здатність застосовувати сучасні маловідходні, енергозберігаючі і екологічно чисті промислові технології, що забезпечують безпеку життєдіяльності людей та їхній захист від можливих наслідків аварій, катастроф і стихійних лих, застосовувати способи раціонального використання сировинних, енергетичних та інших видів ресурсів у машинобудуванні	
Організаційно-управлінська діяльність		
ПК-18	Здатність організовувати роботу колективів виконавців у тому числі над міждисциплінарними проектами	ЗНАННЯ – основних методів та підходів щодо організації, планування, керування та контролю робіт з проектування, розроблення, післяпроектного супроводу та експлуатації машин загального призначення. УМІННЯ – аргументовано переконувати колег та партнерів у правильності пропонуваного рішення, вміти донести до інших свою позицію й відстояти її; – складати плани планово-запобіжних ремонтів та плани технічного обслуговування обладнання; – розробляти інструкції з експлуатації основного та допоміжного технологічного обладнання, засобів механізації та автоматизації технологічних процесів; – проводити аналіз технічної документації на відповідність існуючим державним стандартам.
ПК-19	Здатність здійснювати діяльність, пов'язану з керівництвом діями окремих співробітників, надавати допомогу підлеглим	
ПК-20	Здатність за стандартизованими методиками складати документацію (графіки робіт, інструкції, кошториси, плани, заявки на матеріали й устаткування тощо) і готувати звітність за установленими формами, готувати документацію для створення системи менеджменту якості на підприємстві	
ПК-21	Здатність проводити попередній аналіз і оцінку виробничих і невиробничих витрат на забезпечення необхідної якості продукції, аналізувати результати діяльності виробничих підрозділів	
ПК-22	Здатність виконувати роботи зі стандартизації, уніфікації та технічної підготовки до сертифікації технічних засобів, систем, процесів, устаткування й матеріалів, організовувати метрологічне забезпечення технологічних процесів з використанням типових методів контролю якості продукції	
ПК-23	Здатність готувати вихідні дані для	

Код	Професійні компетентності	Нормативний зміст підготовки
	вибору й обґрунтування науково-технічних і організаційних рішень на основі економічних розрахунків здійснених за типовими методиками	
ПК-24	Здатність здійснювати попередні організаційно-планові розрахунки щодо створення або реорганізації виробничих ділянок, планувати роботу персоналу й фондів оплати праці	
ПК-25	Здатність складати заявки на устаткування й запасні частини, готувати технічну документацію на ремонт обладнання	
Науково-дослідна діяльність		
ПК-26	Здатність до систематичного вивчення та аналізу науково-технічної інформації, вітчизняного й закордонного досвіду з відповідного профілю підготовки	ЗНАННЯ – законів, методів і методик проведення наукових і прикладних досліджень та обробки отриманих результатів; – знання прикладного програмного забезпечення. УМІННЯ – здійснювати інформаційно-аналітичні дослідження заданої тематики; – виконувати спостереження, вимірювання, складати звіт про проведені дослідження, аналізувати отримані результати досліджень, готувати дані для оглядів та наукових публікацій; – забезпечувати моделювання технічних об’єктів і технологічних процесів з використанням стандартних пакетів і засобів автоматизації інженерних розрахунків, проводити експерименти за заданими методиками з обробкою й аналізом результатів; – виконувати порівняльний аналіз показників працездатності виявлених аналогів об’єктів проектно-конструкторських розробок..
ПК-27	Здатність забезпечувати моделювання технічних об’єктів і технологічних процесів з використанням стандартних пакетів і засобів автоматизації інженерних розрахунків, проводити експерименти за заданими методиками з обробкою й аналізом результатів	
ПК-28	Здатність брати участь у роботах зі складання наукових звітів з виконаних завдань та у впровадженні результатів досліджень і розробок у сфері професійної діяльності	
ПК-29	Здатність брати участь у роботі над інноваційними проектами, використовуючи базові методи дослідницької діяльності	

РОЗДІЛ 1 ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ

1.1 Терміни та їх визначення

Виріб – це предмет або набір предметів виробництва, які виготовляються на даному підприємстві. Любий виріб розглядається як об'єкт проектування, виробництва, експлуатації та ремонту.

Заготовка – це предмет праці, із якого за рахунок зміни форми, розмірів, властивостей поверхонь та матеріалу виготовляють деталь.

Складальна одиниця – це виріб, складові частини якого підлягають з'єднанню між собою складальними операціями.

Деталь – це виріб, виготовлений із матеріалу однієї марки без використання складальних операцій або з використанням місцевих з'єднувальних операцій (зварювання, припаювання, склеювання та інших).

Машина – це пристрій для перетворення енергії, матеріалів, інформації з метою забезпечення і підвищення продуктивності праці людини. Машина використовується для розширення функціональних можливостей людини в різних напрямках діяльності. Машина складається із деталей, вузлів, складових одиниць, агрегатів і елементів, що забезпечують з'єднання складових частин в багатофункціональний виріб.

Вузол – це частина машини, установки, яка складається із декількох простих деталей і які мають загальне функціональне призначення (підшипник кочення, редуктор).

Агрегат – це округлений уніфікований елемент машини, який має повну взаємозамінність і виконує визначені функції (в автомобілі це двигун, коробка передач).

Виробничий процес – це сукупність всіх дій людей і методів виготовлення та засобів праці на підприємстві для виробництва або ремонту виробів. Виробничий процес передбачає: технологічну підготовку

виробництва; отримання, зберігання та переміщення матеріалів і заготовок; різні види обробки; збирання виробів і контроль якості.

Технологічний процес – це частина виробничого процесу, яка передбачає направлені дії на зміну і наступне визначення стану засобів праці (заготовки і виробів).

Технологічна операція – це закінчена частина технологічного процесу виконана на одному робочому місці.

Технологічний перехід – це закінчена частина технологічної операції, яка характеризується сталістю використовуваного інструменту і поверхонь, які утворюють обробкою.

Допоміжний перехід – це закінчена частина технологічної операції, яка складається із дій людини і обладнання, яка не супроводжується зміною форми, розмірів, параметрів шорсткості поверхні, але необхідної для виконання технологічного переходу, наприклад, установка оброблюваної заготовки, її закріплення, зміна ріжучого інструменту.

Робочий хід – це закінчена частина технологічного переходу, який складається із одноразового переміщення інструменту відносно заготовки і супроводжується змінною форми, розмірів, якості поверхні або властивості заготовки.

Допоміжний хід – це представляє собою закінчену частину технологічного переходу, яка складається із одноразового переміщення інструменту відносно заготовки і не супроводжується її змінами, але необхідного для підготовки робочого ходу.

Технологічні команди – це вказівки, які реалізують виконуючими механізмами, наприклад, включення, подача мастильно-охолоджувальної речовини (МОР) та інш.

Установ – це частина технологічної операції, яка виконується при незмінному (одноразовому) закріпленні оброблюваної заготовки.

1.2 Етапи виготовлення виробів машинобудування

Технологічний процес розпочинається з металургійного виробництва первинних заготовок: виливків, профілів, порошків з металевих сплавів. В умовах металургійного виробництва машинобудівні профілі виготовляють обробкою тиском; прокатуванням; пресуванням і волочінням, а заготовки отримують у вигляді сортових профілів, листового прокату, труб і періодичних профілів. Калібровані профілі характеризуються високою точністю розмірів та малою жорсткістю поверхні. При виготовленні деталей із них необхідна тільки оздоблювальна механічна обробка.

Сортові профілі поділяють на профілі простої геометричної форми (квадрат, круг, шестикутник, прямокутник) і фасонні профілі (швелер, рейка, кутик, тавр). Листовий метал поділяють на товстолистову і тонколистову сталь та фольгу, а труби – безшовні і зварні.

Періодичні профілі, які використовуються як заготовки, мають змінну форму і площу поперечного перерізу повздовж своєї вісі.

На [рис. 1.1](#) приведені основні етапи виготовлення виробів машинобудування.

Заготовки піддають механічній, електрофізичній, електрохімічній обробці з метою отримання деталей з необхідними параметрами якості. Зокрема, часто перед обробкою різанням зварні конструкції піддають термічній обробці для зняття внутрішніх напруг і зміни механічних властивостей.

Після виготовлення деталей настає етап складання машин з необхідними експлуатаційними характеристиками. Працеспроможність виробу в цілому і якість окремих деталей перевіряють в процесі випробувань. Якщо виріб (машина) відповідає вимогам технічного завдання, його розпочинають експлуатувати в заданих умовах.

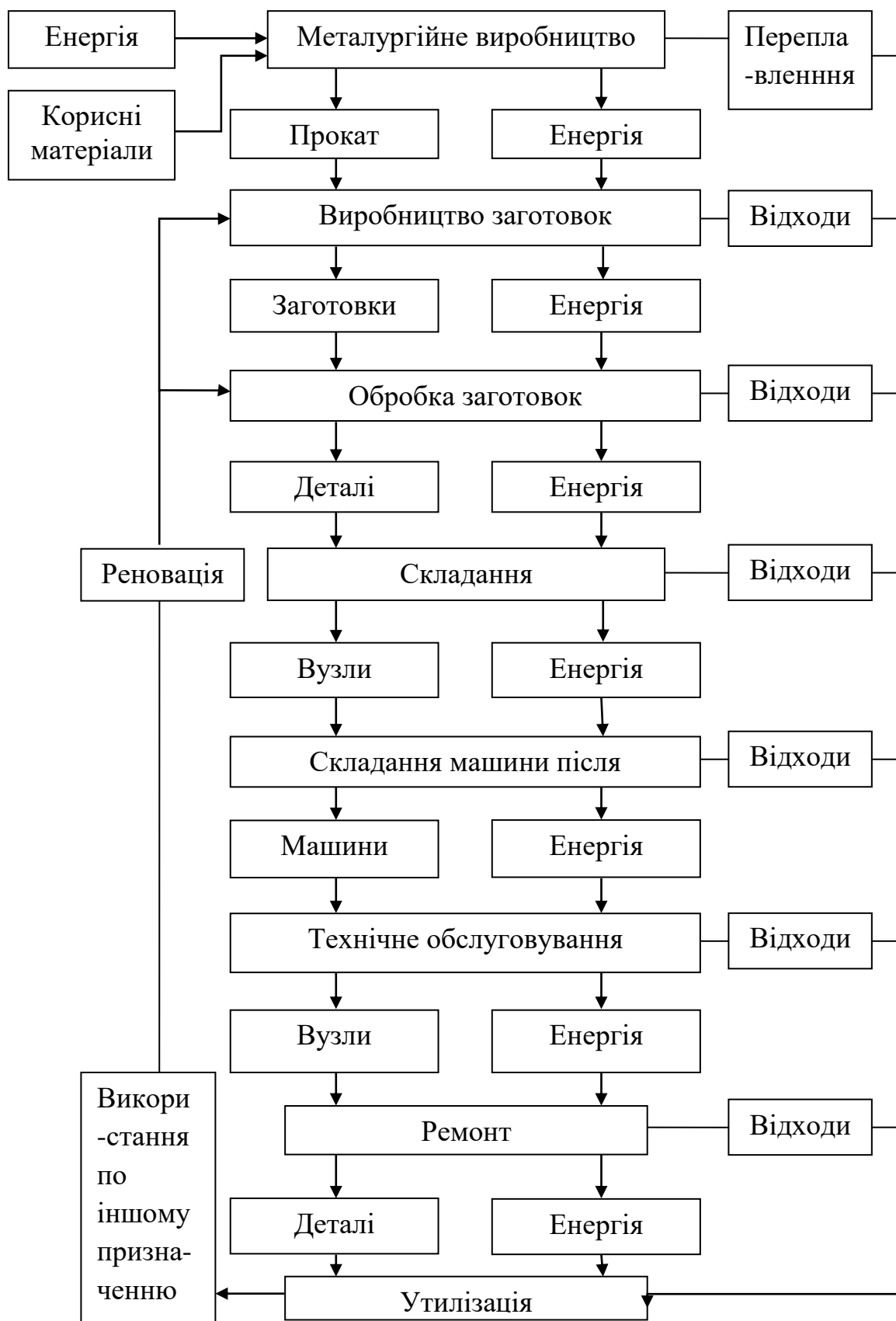


Рис. 1.1 Основні етапи виготовлення виробів машинобудування

В процесі технічного обслуговування або ремонту виявляються деталі, які не можуть експлуатуватися в подальшому (вийшли із ладу) – вони повинні бути замінені на нові. Важлива роль належить також діагностуванню відпрацьованих деталей і залежно від результатів експертизи вони можуть бути відновлені або використані для іншого призначення. У випадках коли, виріб (деталь) не піддаються відновленню її відправляють на переплав.

На всіх етапах технологічного процесу виготовлення виробу відбувається споживання енергії і забруднення навколишнього середовища.

При проектуванні виробів і підготовці технічної документації для їх виготовлення конструктор і технолог повинні забезпечити необхідну якість продукції при мінімальних витратах матеріалів, енергії і праці. Тому при проектуванні виробів необхідно враховувати не тільки умови експлуатації, але й технології їх виготовлення.

В процесі конструювання деталей з заданими показниками якості необхідно враховувати наступні вимоги, які сприяють підвищенню їх технологічності: мінімальну собівартість, працеемність, матеріалоемність, високу стабільність, надійність і ремонтну спроможність. Питання технологічності конструкції деталі повинні вирішуватись на стадіях проектування заготовки, її механічної обробки і складання всього виробу.

При розробці нових технологій необхідно вирішувати і екологічні проблеми, які виникають при добуванні корисних матеріалів, споживання енергії і забруднення навколишнього середовища.

1.2.1 Виробнича структура машинобудівного підприємства

Головна ціль підприємства є випуск конкурентоспроможної продукції – необхідної якості при мінімальних витратах. Для цього на

підприємстві здійснюють виробничий процес, який складається з основного, допоміжного і обслуговуючого процесів (рис. 1.2).



Рис. 1.2 Структура машинобудівного підприємства

Результатом основного виробничого процесу – це випуск виробів, які призначені для реалізації. Основний процес складається із заготовлюваної, оброблювальної і збирально-доводочної стадії.

На заготовлюваній стадії виготовляються заготовки методами литва, обробки тиском, пресуванням, розрізанням.

На стадії обробки здійснюється зміна форми, розмірів жорсткості і фізико-механічних властивостей заготовок для отримання деталі необхідної якості. А перетворення заготовок в деталі здійснюють обробкою різними методами: механічними, термічними, фізико-хімічними, комбінованими.

На збирально-доводочній стадії завершається основний виробничий процес, який полягає в отриманні готових виробів, їх обкатуванні та

випробуванні на відповідність параметрів зібраного виробу технічним вимогам.

Процеси виготовлення виробів допоміжного виробництва відносяться до допоміжних процесів, які включають: виготовлення і ремонт обладнання; виготовлення та ремонт технологічного обладнання; виготовлення експериментальних зразків машин.

До обслуговуючих процесів відносять ті, які зв'язані з обслуговуванням основних і допоміжних процесів, зокрема: складські, транспортні, процеси забезпечення всіма видами енергії (електричним струмом, стиснутим повітрям, горючими газами, тепловою та ін.).

Відповідно до стадії основного виробничого процесу – основні цехи поділяють:

- на заготівельні: ливарні (чавуноливарні, сталеливарні, кольорового литва);
- оброблювальні: механічні, металоконструкцій, термічні, металопокриттів (гальванічні), фарбувальні та деревообробні;
- збиральні: вузлове і загальне збирання з ділянками або відділеннями обкатування та випробовування.

До складу допоміжного виробництва підприємства відносяться допоміжні цехи, які виконують функцію технічного забезпечення основного виробництва. До них відносяться: інструментальні, ремонтно-механічні, модельні, експериментальні.

До складу обслуговуючих відносять:

- склади металу, напівфабрикатів, виробів суміжних виробництв, пристроїв та інструментів, шихтових і формівних матеріалів, , палива, мастильних і хімічних матеріалів, деревини, моделей та ін.;
- транспортні пристрої: гаражі, рельсова сітка, підвісні пристрої та ін.;
- енергетичні пристрої: силові станції і підстанції; трансформатори, котельні; компресорні установки;

- загальнозаводські підрозділи: центральна лабораторія з відділеннями для механічних випробовувань, хімічного аналізу, металографічних і рентгеноструктурних випробовувань; технологічна лабораторія для дослідження різних видів обробки; центральна вимірювальна лабораторія з контрольно-випробовуванням в цехах.

1.2.2 Заготовчі операції

Деталі отримують із заготовок. Заготовка – це предмет праці, із якого за рахунок зміни форми, розмірів, властивостей поверхонь та матеріалу виготовляють деталь. Вибір заготовки залежить від форми деталі та її розмірів, вихідного матеріалу, типу та виду виробництва, наявності необхідного обладнання, вимог до якості готової деталі. Відомі різні способи отримання заготовок (Рис. 1.3): прокатування, пресування, кування, гаряче (холодне) об'ємне штампування, лиття, зварювання, методами порошкової металургії, листове штампування.

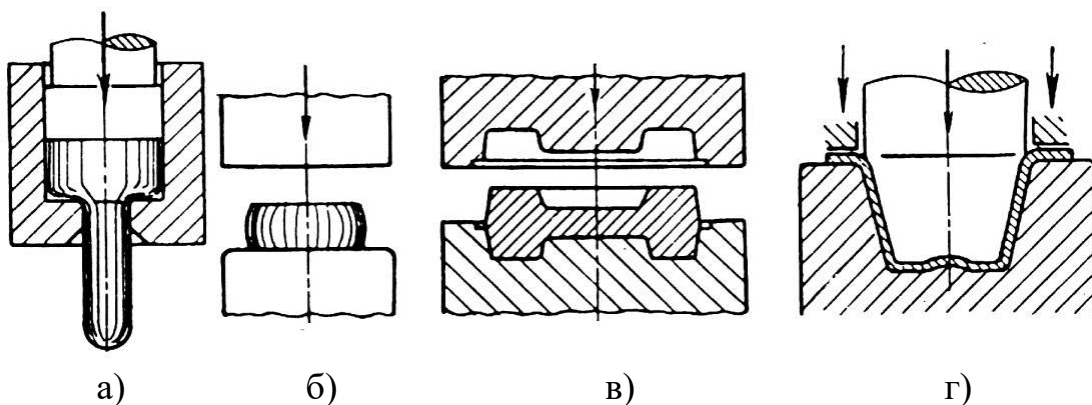


Рис. 1.3 Способи отримання заготовок: а) пресування; б) кування; в) об'ємне штампування; г) листове штампування

Кожний із перерахованих способів має визначені переваги і недоліки. Вибір способу отримання заготовки визначається економічними розрахунками та технологічною доцільністю.

Прокатуванню піддають до 90% всієї виплавляємої сталі та більшу частину кольорових металів. Сукупність форм та розмірів профілів, які отримують прокатуванням називають сортаментом.

Кування – це вид гарячої обробки металів тиском, коли метал деформується за допомогою універсально інструменту. Процес кування здійснюється послідовним деформуванням окремих ділянок нагрітої заготовки, коли метал вільно плинне в різні боки.

Холодне об'ємне штампування – це процес обробки матеріалів тиском, який протікає без попереднього нагрівання заготовки. Холодне штампування дозволяє отримувати заготовки і деталі складної форми 9...7 квалітету точності та шорсткості від $Rz10$ до $Rz1,6$ мкм

Гаряче об'ємне штампування – вид обробки металів тиском, в процесі якого формоутворення поковки із нагрітої заготовки здійснюється за допомогою спеціального інструменту – штампу.

Основними перевагами гарячого/об'ємного штампування в порівнянні з куванням є: висока продуктивність (в 5...10 разів) отримання поковок складної форми без напусків і значно менші допуски на виготовлення.

Волочіння – це процес протягування заготовки, частіше в холодному стані, через отвір в інструменті – фільтрові (волока, матриця). Матеріал фільтрів виготовляють в залежності від оброблюваного матеріалу заготовки із інструментальної сталі, твердого сплаву або алмазу. Кут робочого конуса дорівнює 6-12 градусів, а ширина калібрувального поясу 2-4 мм. Робочу частину матриці виготовляють з інструментальних сталей, твердих сплавів і технічних алмазів. Основними параметрами волочіння є ступінь обтискування, який за одноразового обтискування складає 30-35%. Волочіння здійснюють за кілька проходів із застосуванням змащуючи речовин. Волочінням обробляють вуглецеві й леговані сталі, кольорові метали та їх сплави.

Волочінням одержують прутки діаметром 3-150 мм, дроти діаметром 0,006-16 мм, труби діаметром від капілярних до 200 мм з товщиною стінки 1,5-12 мм.

Ливарне виробництво – це процес виготовлення заготовки деталі шляхом заливання рідкого металу в порожнини заданих форм та розмірів з наступним твердненням. Процес отримання виливків здійснюється в наступній послідовності: виготовлення форми; плавлення металу; заливка рідкого металу в форму; видалення заготовки із форми; видалення ливникової системи, очистка виливки.

Вибір того або іншого способу лиття залежить від типу виробництва, конфігурації, розмірів та матеріалу деталі, необхідної точності і шорсткості поверхні та економічної доцільності. Сутність безперервного лиття полягає в тому, що рідкий метал подається в кристалізатор, охолоджується та швидко твердіє. Внаслідок направленому твердженню сплаву виливки не мають неметалевих включень, усадочних раковин та пористості (шаруватості).

Лиття витискуванням використовують для отримання тонкостінних великогабаритних виливків з розмірами до 1000...2500 мм з товщиною стінок 2...5 мм із алюмінієвих і магнієвих сплавів. Метал заливають між двома паралельними, в розмір виливки, напівформами, а надлишки металу з включеннями витискаються в спеціальну ємність.

Лиття вакуумним всмоктуванням здійснюється за рахунок заповнення розплавленого металу всмоктуванням, що утворюється у водоохолоджуваній ливарній формі вакуумним насосом. Спосіб використовується для отримання виливків простої форми із бронзи і латуні. Перевага даного способу полягає в отриманні якісних виливків без витрат металу на ливники та прибутки.

Сутність лиття заморожуванням полягає в утворенні виливки за рахунок послідовного тверднення металу – його нанесенням на затравку.

На поверхню рідкого металу розміщують керамічний поплавок з отвором, який відповідає перерізу виливки, та в який вводять затравку. При підйомі затравки із отвору поплавка за рахунок сил поверхневого натягу поступово витягується рідкий метал, який твердне та утворює виливок. Швидкість витягування повинна бути синхронізована з швидкістю охолодження і твердненням металу. Використовується даний спосіб для отримання труб з внутрішніми і зовнішніми ребрами та інших виробів складного профілю із алюмінієвих сплавів.

Рідинне прокатування – це суміщений спосіб лиття і прокатування, коли рідкий метал пропускається між двома водо-охолоджувальними валками. В зазорі між валками відбувається кристалізація металу. Використовується даний спосіб для отримання стрічок із алюмінію, чавуна та інших сплавів шириною 750 мм і товщиною 0,7...2,5 мм

Рідинне штампування займає проміжне положення литвом та об'ємним штампуванням. Порцію рідкого металу заливають в металеву форму (матрицю), в яку опускається металевий пуансон, який видавлює метал у порожнини форми, а між формою і пуансоном утворюється виливка. Даним способом отримують виливку із мідних, алюмінієвих, магнієвих і цинкових сплавів з високими щільністю і механічними властивостями за рахунок інтенсивного тепловідводу та гарячому деформуванню литої структури в процесі кристалізації. Частіше використовують такі методи лиття): литво в пісчаноглинисті форми, лиття в оболонкові форми, лиття по витоплюваним моделям, лиття в кокіль, лиття під тиском, відцентрове лиття.

Вибір того або іншого способу лиття залежить від типу виробництва, складності конфігурації, розмірів матеріалу деталі, необхідної точності і шорсткості поверхні та економічності і економічності доцільності.

Зварювальне виробництво – це технологічний процес отримання нероз'ємних з'єднань в результаті виникнення атомно-молекулярних

зв'язків між з'єднувальними деталями при їх нагріванні та пластичній деформації. Зварні з'єднання можна отримувати двома принципово різними шляхами: зварюванням плавленням та зварюванням тиском.

При зварюванні плавленням атомно-молекулярні зв'язки між деталями створюють, оплавляючи їх примикаючи кромки, так, щоб утворилася, загальна зварювальна ванна (розплавлений рідкий метал). Ця ванна твердіє при охолодженні та з'єднує деталі в одне ціле. Як правило, в рідку ванну вводять додатковий метал, щоб повністю заповнити зазор між деталями, але можливе зварювання і без нього. При зварюванні тиском обов'язковим є спільна пластична деформація деталей стисненням зони з'єднання. Цим забезпечується очистка зварювальних поверхонь від плівок забруднень, зміна їх рельєфу та утворення атомно-молекулярних зв'язків. Зазвичай перед пластичною деформацією попередньо проводять нагрів, так як з ростом температури зменшується значення деформації, необхідної для зварювання та підвищення пластичності металу.

По виду енергії, яка використовується для нагріву металу всі способи зварювання можна поділити на основні групи: електричні, хімічні, механічні, променеві. Найбільш важливою є група електричних способів, при яких для нагріву металу використовується електричний струм. В залежності від принципу перетворення електричної енергії в теплову, яка використовується в процесі зварювання розрізняють наступні основні види електричного зварювання: дугове, контактне, електрошлакове, індукційне, плазмове. До групи хімічних способів зварювання належить термітне. Нагрів металу при цих способах зварювання відбувається за рахунок тепла екзотермічних реакцій окислення різноманітних речовин, які знаходяться в газоподібному або твердому станах. До механічних способів зварювання відносять: горне, холодне тиском, тертям, вибухом та ультразвуком. При цих методах зварювання для з'єднання металів використовують відповідні

види механічної енергії. Група променевих способів зварювання об'єднує: електронно-променеве та лазерним променем. З перелічених способів зварювання найбільш важливе значення мають електричне дугове, контактне та газове зварювання.

В даний час зварювання металів так як й обробка металів тиском, різанням та литвом, є основним технологічним процесом виготовлення різноманітних металевих конструкцій та виробів. Зварювання знаходить широке застосування при будівництві нових заводів та підприємств, в транспортному машинобудуванні при виготовленні зварних залізничних вагонів та цистерн, в суднобудуванні, при будівництві котлів, при монтажі доменних та мартенівських печей, прокладанні нафто-та газопроводів, при будівництві мостів, відновленні зношених та поламаних деталей механізмів та машин та ін. Особливо великий економічний ефект дає застосування зварювання при виготовленні тяжких зварювально-ливарних та зварювально-кувальних конструкцій, використання зносостійкого наплавлення в виробництві валків прокатних станів, зміцнення робочих поверхонь землерийних та будівельно-дорожніх машин, куально-пресового та дробильного обладнання, металорізального інструменту та ін. По різному забезпечуються захист зони зварювання від впливу повітря та її примусової деформації. Існує безліч технологічних процесів зварювання. Зварювання є найбільш важливим способом одержання нероз'ємних з'єднань з різних матеріалів, зварюються метали та сплави, кераміка, скло, пластмаси, різноманітні матеріали. Зварювання застосовується у всіх областях техніки.

Джерелом теплоти є електрична дуга, яка горить між електродом та заготовкою. Зварювальною дугою називається потужний електричний розряд між електродами, що знаходяться в середовищі іонізованих газів та парів. В залежності від матеріалу та числа електродів, а також способу

включення електродів та заготовки в ланцюг електричного струму розрізняють такі різновидності дугового зварювання (рис. 1.4).

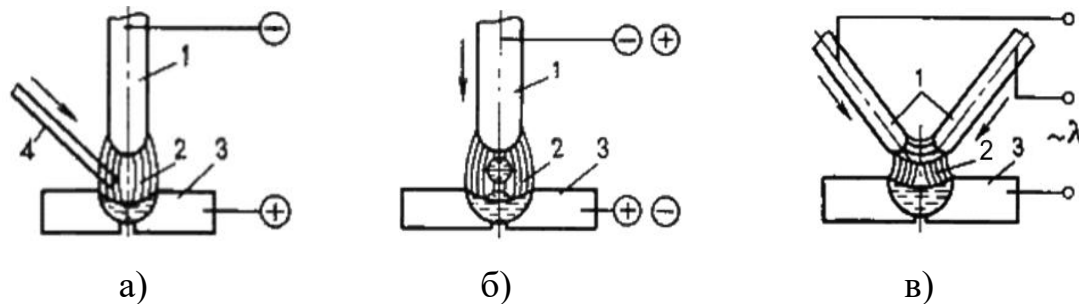


Рис. 1.4 Схеми дугового зварювання: а) зварювання неплавким електродом дугою прямої дії; б) зварювання плавким електродом дугою прямої дії; в) зварювання трьохфазною дугою

Зокрема, зварювання неплавким (графітовим або вольфрамовим) електродом 1 дугою прямої дії 2, при якому з'єднання виконується шляхом розплавлення лише основного металу 3, або із застосуванням присадного металу 4 (Рис. 1.4 а). На відмінно від зварювання неплавким електродом, зварюванням плавким електродом (металевим) 1 дугою прямої дії 2 характеризується одночасним розплавленням основного металу 3 та електроду, який поповнює зварювальну ванну рідким металом (Рис. 1.4 б). Зварювання трьохфазною дугою 2 не прямої дії, що горить між двома, як правило, реалізують не плавкими електродми 1 (Рис. 1.4 в). При цьому основний метал 3 нагрівається та розплавляється теплотою стовпа дуги.

1.3 Послідовність зміни поверхневого шару при різних методах обробки

Технологічний процес механічної та інших методів обробки з використанням обладнання з ЧПК по відношенню послідовності операцій, складу операцій, розрахунку режимів обробки виробу в принципі підпорядковується тим же правилам, що і для обладнання з іншим керуванням, тобто спочатку може бути складаний технологічний процес з орієнтацією на звичайне обладнання. Операції повинні бути проаналізовані

по елементам допоміжного часу і запропоновані пропозиції про можливість зменшення допоміжного часу при переході на обробку на обладнанні з ЧПК. Ці пропозиції на даному етапі можуть розглядатися як попередні, а кінцеві приймаються після визначення обладнання, зокрема, для механічної обробки на верстаті з ЧПК операція обробки деталі повинна бути пронумерована.

Нормування операції на верстаті може бути виконано тільки після переробки креслення або операційного ескізу так, щоб його можна було використати для складання розрахунково-технологічної карти команд і переміщення виконуючих органів верстату.

Технологічна переробка креслення на операції, на які запроектовано верстат з ЧПК здійснюється з урахуванням даних технічних характеристик верстатів з ЧПК. Розрахунок припусків на механічну обробку проводиться розрахунково-аналітичним методом і по таблицям.

Реальна поверхня фізичного тіла не є ідеальною. Розрізняють наступні геометричні відхилення поверхонь залежно від відношення кроку S до висоти нерівностей Ra : при $S/Ra < 50$ – поверхня шорстка, при $S/Ra = 50 \dots 1000$ – поверхня хвиляста та при $S/Ra > 1000$ – присутні макроскопічні відхилення або відхилення від правильної геометричної форми (конусність, овальність, увігнутість та ін.).

Дефекти поверхонь – це окремі нерівності сукупність нерівностей поверхні, розміри яких суттєво відрізняється від параметрів шорсткості та хвилястості. До дефектів поверхні відносять риски, подряпини, вм'ятини, раковини, пори, сколювання, зміна кольору, тріщини, задири та ін.

Шорсткість поверхні характеризує форму, розташування та напрямки мікронерівностей у межах базової довжини – середнього кроку нерівностей S_m , середньому кроку нерівностей по вершинам S та відносній опорній довжині профілю t_p .

Хвилястість може утворюватися на поверхні деталі при її виготовленні за рахунок вібрацій системи верстат-інструмент-заготовка. Розрізняють хвилястість поперечну (з розташуванням хвиль перпендикулярно до руху ріжучого інструменту) та повздовжню (з розташуванням хвиль в напрямку руху інструменту).

Оцінюють хвилястість за трьома параметрами: висотою хвилястості W_x , найбільшою висотою хвилястості W_{max} , а також середнім кроком хвилястості S_w (рис. 1.5).

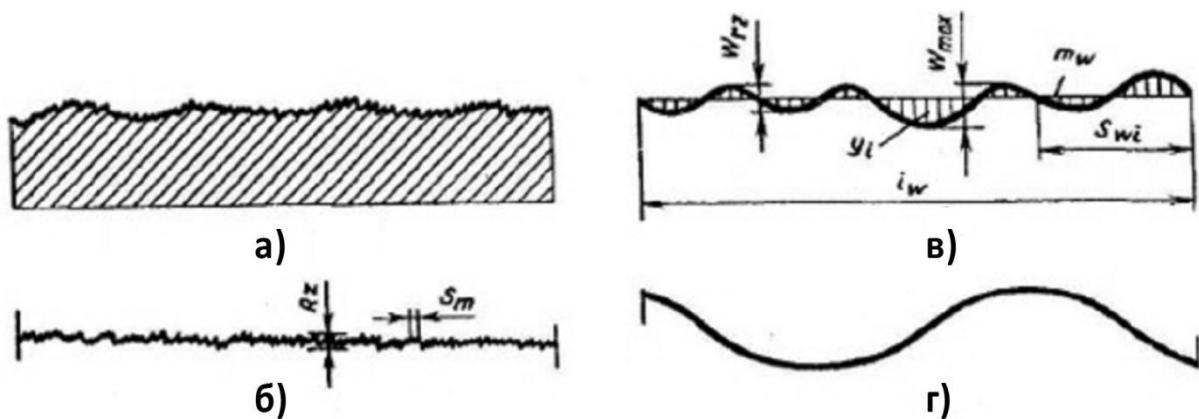


Рис. 1.5 Геометричні характеристики поверхні: а) характер реальної поверхні; б) мікрогеометрія; в) хвилястість; г) макрогеометрія

Фізико-механічні властивості поверхневого шару змінюються при виготовленні деталей, а також під час експлуатації під дією силових, температурних та інших факторів.

Поверхня твердого тіла порівняно з його внутрішньою частиною має ряд особливостей. Будь-який атом, розташований в середині твердого тіла з ідеальною кристалічною решіткою, знаходиться в стані рухливої стійкої рівноваги, так як для нього в усіх напрямках інтенсивність силового поля однакова. В іншому положенні будуть атоми, які знаходяться на поверхні: вони мають лише односторонні зв'язки з металом, тому що їх стан невірноважений, нестійкий; вони більш активні, мають надлишок вільної енергії в порівнянні з атомами, що знаходяться всередині. Поверхня металу в реальних умовах адсорбує атоми елементів оточуючого

середовища, покриваючись шарами адсорбованих газів, парами води, жирів, утворюючи різні оксиди.

В результаті дифузії в поверхневому шарі виникають хімічні та інші з'єднання основного металу з речовинами, що проникають ззовні. Дифузійна рухливість атомів може призвести до перерозподілу концентрації легуючих елементів, в результаті чого в окремих випадках у поверхневому шарі зменшується вміст деяких легуючих елементів (знеуглецювання поверхневого шару в сталях, зниження кількості хрому та алюмінію в жароміцних нікелевих сплавах за високих температур нагрівання та ін.). Дифузія через поверхню дуже сильно впливає на властивості металів та перш за все на властивості їх поверхневих шарів. Особливо це характерно для тих випадків, коли температура в зоні обробки деталей висока (шліфування, швидкісне точіння, цементація, азотування та ін.).

Залишковими напруженнями називають такі напруження, які існують та врівноважуються всередині твердого тіла після видалення причин, що викликали їх появу.

За протяжності силового поля розрізняють наступні залишкові напруження:

- напруження першого роду, або макронапруження, які захвачують області, розміри яких відповідають розмірам деталі. Вони мають орієнтацію, яка пов'язана з формою деталі та виникають від неоднорідності силового, температурного поля всередині деталі;
- напруження другого роду, або мікронапруження, які розповсюджуються на окремі зерна або на групи зерен;
- напруження третього роду (субмікроскопічні), відносяться до викривлень атомної решітки і цьому випадку термін «напруження» є умовним, іноді їх називають статистичним викривленням решітки або викривлення третього роду.

Таблиця 1.1 Класифікація поверхневого шару деталі

Група параметрів	Параметр		
	Назва	Позначення	Одиниця вимірювання
1	2	3	4
1. Нерівності поверхні: шорсткість	Найбільша висота нерівностей профілю	R_{max}	мкм
	Висота нерівностей профілю	R_z	мкм
	Середнє арифметичне відхилення профілю	R_a	мкм
	Середній крок нерівностей	S_m	мм
	Середній крок нерівностей за вершинами	S	мм
	Відносна опорна довжина профілю	t_p	%
	Радіус заокруглення впадин нерівностей	r	мм
	Середнє квадратичне відхилення профілю	R_z	мкм
Хвилястість	Висота хвилястості поверхні	W_z	мкм
	Середній крок хвилястості поверхні	S_w	мм
2. Характеристика фізико-хімічного стану поверхневого шару: структура	Тип структури	-	-
	Форма фаз	K	-
	Розміри фаз (дисперсність)	L	мм
	Орієнтування структури	-	-
	Розподіл фаз по об'єму металу	-	-
	Розмір блоків	$\langle D \rangle$	нм
	Кут розорієнтування блоків	α_δ	-
	Густина дислокації	δ	см ²
Фазовий стан	Концентрація вакансій	C	-
	Тип та кількість фаз	-	-
	Кількість фаз в металі	-	%
	Тип кристалічної решітки	-	-
	Параметри кристалічної решітки	a, b, c α, β, γ	мкм -
Хімічний склад	Елементний склад в об'ємі сплаву	-	-
	Елементний склад фаз	-	-
	Концентрація елементів в об'ємі сплаву	C_n	%
	Концентрація елементів в фазі	C_ϕ	%
	Розподіл елементів в об'ємі сплаву	-	-
Деформація	Ступінь деформації зерна	ε_z	%
	Ступінь деформації шару	ε	%
	Мікродеформація	$\langle \varepsilon \rangle$	%
	Мікротвердість	HV	МПа
	Глибина наклепу	h	мкм
	Ступінь наклепу	ΔHV	%
	Гradient наклепу	$HV_{гр}$	МПа/мм
Залишкові напруження	Макронапруження	σ_I	МПа
	Мікронапруження	σ_{II}	МПа
	Статичні викривлення градки	σ_{III}	МПа
Електронна емісія	Інтенсивність	I	имп/с
	Робота виходу	E	єВ

Напруження другого та третього роду дезорієнтовані та не проявляються у вигляді короблення при розрізанні деталей на частини.

Основними причинами виникнення макронапружень є неоднорідність пластичної деформації та локальний, неоднорідний нагрів металу поверхневого шару, а при наявності перетворень – різність об'ємів структур, що утворились. Мікронапруження – місцеві залишкові напруження в мікронах. Вони є наслідком фазових перетворень, зміни температури, анізотропії механічних властивостей окремих зерен, границь зерен та розпаду зерен на блоки при пластичній деформації.

Причиною утворення викривлень кристалічної решітки є перш за все дислокація та впровадження атомів. Ступінь та глибина наклепу обумовлені пластичною деформацією поверхневого шару та безпосередньо пов'язані зі збільшенням дислокацій, вакансій та інших дефектів кристалічної решітки металу.

Класифікацію параметрів поверхневого шару деталі приведено в [табл. 1.1](#), а орієнтовні величини шорсткості та точності поверхонь при різних видах механічної обробки – в [додатку 1.1](#).

1.4 Вихідні дані для проектування технологічного процесу

Вихідними даними для проектування технологічного процесу механічної обробки є:

- креслення і технічні умови на виготовлення і приймання виробу;
- креслення вихідної заготовки;
- виробничі завдання по випуску продукції.

При проектуванні технологічного процесів в умовах діючого виробництва технолог повинен врахувати загальну виробничу обстановку (склад і ступінь завантаження обладнання, забезпеченість інструментом, пристроями, кваліфікованою робочою силою).

Розмір програмного завдання залежить від встановленого об'єму випуску, тобто від кількості виробів визначеного найменування, типорозмірів, виконуваних підприємством (цехом) на протязі запланованого інтервалу часу.

Виріб виготовляється в умовах масового, серійного і одиночного виробництва.

Масове виробництво характеризується безперервним виготовленням виробів обмеженої номенклатури на вузькоспеціалізованих робочих місцях. Цей тип виробництва дозволяє механізувати і автоматизувати технологічний процес.

Розділення серійного виробництва на крупносерійне та дрібносерійне умовне. При одній і тій же кількості виробів в серії, що випускається, але при існуванні різних їх розмірів, складової і працеемкості виробництва може бути відносно до різних типів. По рівню механізації і автоматизації крупносерійне виробництво подібне масовому, а дрібносерійне – з одиничним.

Для умов масового виробництва технічна програма будується з урахуванням такту або ритму випуску виробів. В основі технологічних процесів масового виробництва є типові технологічні процеси.

Для умов середньо серійного виробництва технологічний процес виготовлення конкретного виробу повинен врахувати крім такту випуску даного виробу, загальне річне завантаження обладнання всіма виробами, спланованих до випуску. Для цього типу виробництва технологічні процеси необхідно будувати на основі групових методів обробки. Технологічні процеси та обладнання повинні забезпечувати «визначену» гнучкість, пристосування до зміни об'єктів виробничого і програмного завдання. В цьому типі виробництва широко використовують верстат з ЧПК.

Для умов дрібносерійного виробництва технологічні процеси розробляються без врахування такту випуску.

Технологічний процес механічної обробки розробляється в наступному порядку:

1. Встановлення типу виробництва і організаційної форми виконання технологічних процесів;
2. Вибір виду заготовок і визначення їх розмірів;
3. Встановлення (плану) методів обробки поверхні – послідовності технологічної операції;
4. Вибір обладнання, пристроїв, ріжучого інструменту і визначення їх кількості;
5. Визначення розмірів оброблюваних поверхонь;
6. Визначенні режимів обробки;
7. Визначення норми часу;
8. Визначення кваліфікаційної роботи;
9. Оцінка техніко-економічної ефективності технологічних процесів;
10. Оформлення технологічних документів.

Для обробки на верстатах з ЧПК необхідно розроблювати ретельно технологічний процес з метою підготовки керуючих програм незалежно від типу виробництва.

1.5 Класифікація засобів вимірювання та порядок вимірювання лінійних величин, засоби для вимірювання

Вимірювання параметрів деталі є порівняння його із заданими на робочу кресленні. При вимірюванні знаходять числове значення величин та встановлюють його відповідність контролює мого параметра в межах заданих відхилень.

Для контролю розмірів використовуються різні інструменти і прилади, які поділяються на дві групи: для абсолютних вимірів і відносних.

Абсолютний метод вимірювання полягає в безпосередньому визначенні вимірювальної величини для здійснення якого використовуються прилади з штриховими шкалами. До цих засобів відносяться штангенінструменти з лінійним ноніусом для оцінки долі ділення шкали: штангенциркулі, штангенрейсмуси, штангенглибиноміри.

До групи штангенінструментів загального призначення (рис. 1.6) входять штангенциркулі (а-в), штангенглибиномір (г), штангенрейсмус (д).

Конструктивно штангенциркулі розрізняють по межах вимірювання, формі губок для вимірювання і рухомої рамки, а також по точності вимірювання. В штангенциркулях типів ШЦ-I вони мають форму у вигляді ніжки (рис. 1.6в), в результаті чого можна отримати вимірювальний розмір. В типах ШЦ-II і ШЦ-III (рис. 1.6а,б) виконані губки ступінчасті і мають визначений сумарний розмір, який необхідно прибавляти до підлікованого розміру. Для розмітки кінці вимірювальних губок штангенциркулів типів ШЦ-II гостро загострені. Штангенциркулі моделі ШЦ-III для цієї цілі забезпечуються роз'ємним пристроєм розмітки.

Штангенінструменти виготовляють з величиною розрахунку по ноніусу з ціною ділення ноніуса рівною 0,5 та 0,05 мм. Межі вимірювання шкали ноніуса рівна ціні ділення основної шкали.

При вимірюваннях по положенню нульового штриха ноніуса на шкалі штанги відліком зліва на право визначається ціле число міліметрів у вимірювальному розмірі. Дрібна частина розміру (число десятих і сотих на частку міліметра) визначається добутком величини відліку по ноніусу на порядковий номер штриха ноніуса (не рахуючи нульового), який співпадає з штрихом штанги.

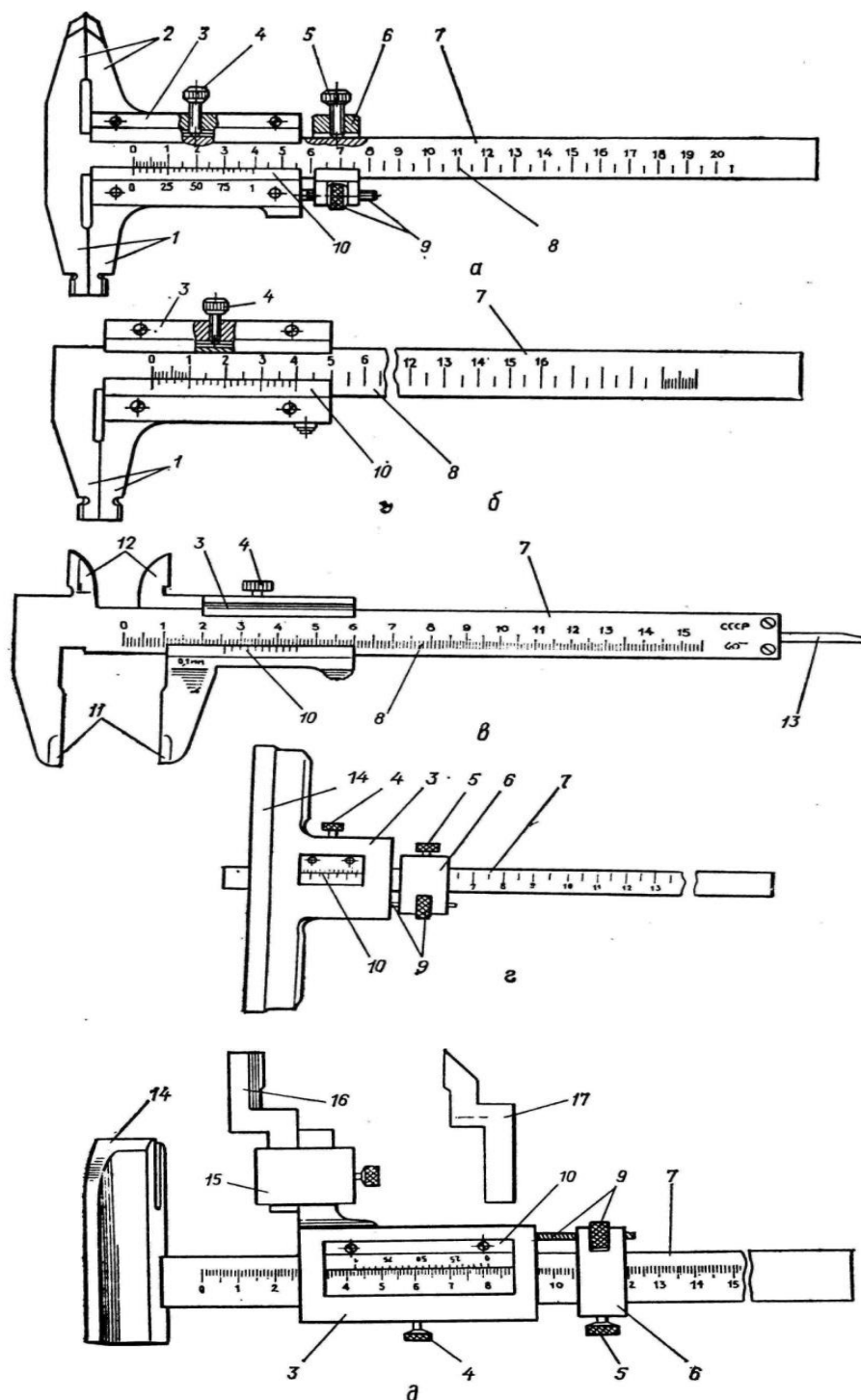


Рис. 1.6 Штангенциркулі (а-в), штангенглибиномір (г), штангенрейсмус (д): 1— губки для внутрішніх та зовнішніх вимірів; 2 – губки для зовнішніх вимірів і розмітки; 3 – рамка; 4 – стопорний гвинт для фіксації рамки; 5 – стопорний гвинт для фіксації рамки мікрометричної подачі; 6 – рамка мікрометричної подачі; 7 – штанга; 8 – шкала штанги; 9 – гайка та гвинт мікрометричної подачі; 10 – ноніус; 11 – губки для зовнішніх вимірів і розмітки; 12 – губки для внутрішніх вимірів; 13 – лінійка глибоко міра; 14 – основа; 15 – хомутик; 16 – ніжка для вимірювання; 17 – ніжка для розмітки.

На ноніусах з величиною відліку 0,05 мм є цифри 25, 50 та 75, якими визначається соті частки міліметра. Для прискорення відліку до цієї цифри прибавляється результат множення величини відліку на порядковий номер короткого штриха ноніуса, який співпадає з штрихом штанги, рахуючи його від попереднього довгого цифрового штриха ноніуса. Кінцевий результат вимірювання отримується у вигляді суми двох величин: цілої (цілих міліметрів) і дрібної (на частку міліметра) частин.

Точність вимірювання штангенінструментами залежить від величини відліку по ноніусу і від його наскільки точно знайдено штрих шкали ноніуса, дійсно співпадаючий штрих повинен знаходитись приблизно всередині між правим і лівим оком.

При вимірюваннях не допускається перекосу шубок. При вимірюванні внутрішніх розмірів до показів штангенциркуля добавляється товщина губок.

Більш точними штрихованими приладами з ноніусом є мікрометричні інструменти – мікрометри.

Мікрометричні інструменти призначені для вимірювань абсолютним методом. У всіх мікрометричних інструментів вимірювальним інструментом являється мікрометричний гвинт, який має різьбу з точним шагом (шаг різьби $t = 0,5$ мм).

Мікрометрична пара виготовляється у вигляді різьбової (мікрометричної) гайки і мікрометричного гвинта. Гвинтова пара використовується для перетворення повздовжнього переміщення гвинта в обертового переміщення шкали барабана. Вимірювальний розмір визначається по куту повороту барабана. Для відліку цілого числа обертів мікрометричного гвинта призначена повздовжня основна шкала, яка розміщена на запресованій в корпус втулці, яка називається стеблем. Стеблем є гайка для мікрометричного гвинта та одночасно забезпечує його центрування і направлення по зовнішньому діаметру. Основна шкала

здвоєна і складається із двох шкал з інтервалом в 1 мм (для полегшення підрахунку). Показником для відліку по даній шкалі являється торець барабана, який закріплений на мікрометричному гвинті (рис. 1.7).

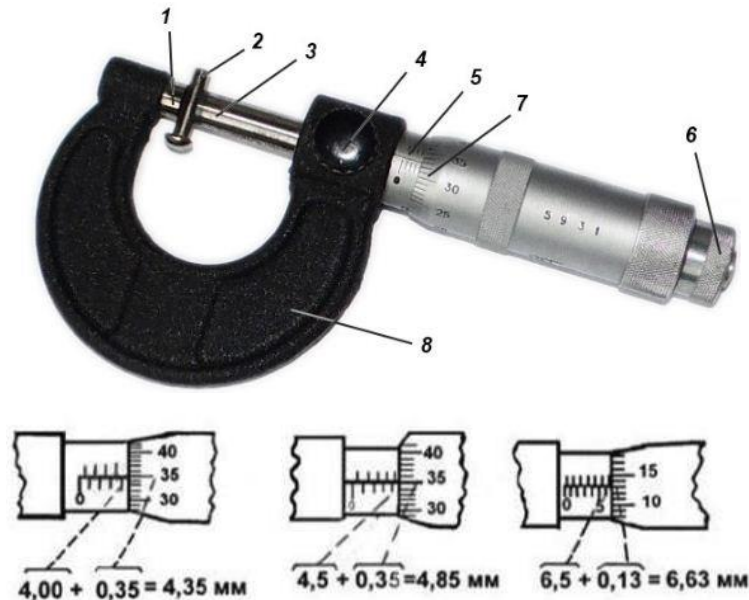


Рис. 1.7 Мікрометр: 1 – п’ятка; 2 – вимірювальний предмет; 3 – шпindel; 4 – стопорна гайка; 5 – шкала для відліку цілих значень; 6 – тріскачка; 7 – допоміжна шкала для відліку нецілих значень (барабан з круговим ноніусом); 8 – скоба.

Для відліку часток оберту мікрометричного гвинта призначена кругова шкала з радіальними штрихами (50 ділень), нанесеними на конусній частині барабана. Показником для визначення по даній шкалі являється повздовжній штрих нанесений на стеблі. Відлік визначається по порядковому номеру штриха барабана (не рахуючи нульового), який співпадає з повздовжнім штрихом. Рахунок проводиться завжди в бік росту номерів штриха.

Існує декілька типів мікрометричних інструментів, які відрізняються конструктивним виконанням, межами вимірювання (гладкі, ричанні мікрометри та інш.).

Нутромір мікрометричний типу НМ75-600 використовується для вимірювання внутрішніх розмірів деталей з дискретністю 0,01 мм.

Мікрометр гладкий з аналогово-цифровою індикацією є аналогом мікрометрів японського виробництва.

Для чого вимірювання поверхні мікрометричного гвинта і п'ятки необхідно з'єднати зусилля трещітки (3-4 рази) безпосередньо між собою (при межах вимірювання 0-25 мм), або за допомогою установчої міри (при межах вимірювання 50 мм і більше); при цьому нульовий штрих барабана повинен сповна дати з повздовжнім штрихом, а змінення барабана повинен відкривати перший штрих шкали.

Якщо показники мікрометра неправильні – нульовий штрих барабана не співпадає з повздовжнім штрихом – його необхідно відрегулювати. Після розведення шпинделя деталь розміщують між п'яткою скоби і торцем мікрометричного гвинта. Потім прижати п'ятку до вимірювальної поверхні і плавно обертати тріскачку по часовій стрілці довести мікрометричний гвинт до вимірювальної деталі поки не почуємо 3-4 щілка та зафіксувати положення мікрометричного гвинта стопором і прочитати показник мікрометра.

Особливої уваги вимагає відлік розмірів, в яких число сотих близько до 0 або 50. У результаті неправильного відліку помилка буде в половині міліметра. Щоб уникнути подібної помилки потрібно виходити з такого. Штрих на основній шкалі (шкалі стебля) враховується у тому випадку, коли він вийшов повністю із під скоса барабана (наприклад діаметр $18\text{ мм} + 0,5\text{ мм} + 0,06\text{ мм} = 18,56\text{ мм}$), а якщо на основній шкалі не вийшов із під скоса барабана то показник враховується (діаметр $18\text{ мм} + 0,06\text{ мм} = 18,06\text{ мм}$). У тих випадках, коли жоден з штрихів барабана не збігається з подовжнім штрихом стебля, вважається найближчий до цього штриха штрих барабана.

Для визначення розмірів внутрішніх циліндричних поверхонь використовують відносний метод вимірювання (визначення відхилень від

заданого значення) за допомогою індикаторного нутроміра, а глибини – індикаторним глибиноміром.

Для перевірки розмірів, форми поверхонь деталі і їх взаємного розміщення в умовах серійного і масового виробництва використовують калібри. При використанні калібрів не вимірюють числові значення відхилень від заданих розмірів, а встановлюють межі між допустимими найбільшими і найменшими розмірами. Граничний калібр для валів називають калібр-скоба, а для отворів – калібр-пробка (рис. 1.8).

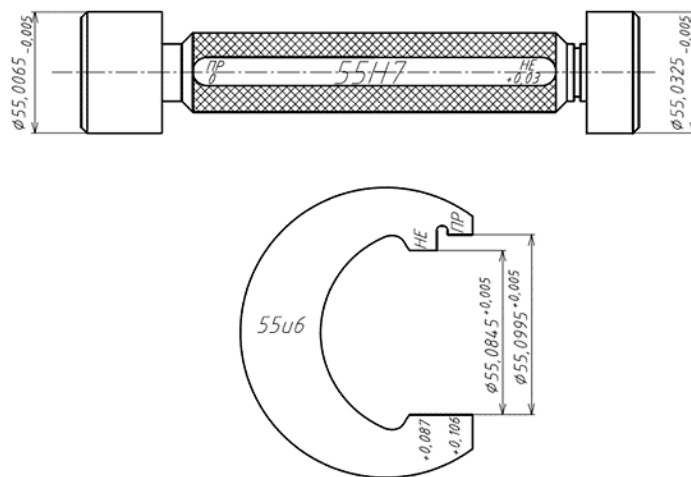


Рис. 1.8 Калібр-пробка, калібр-скоба (нижче)

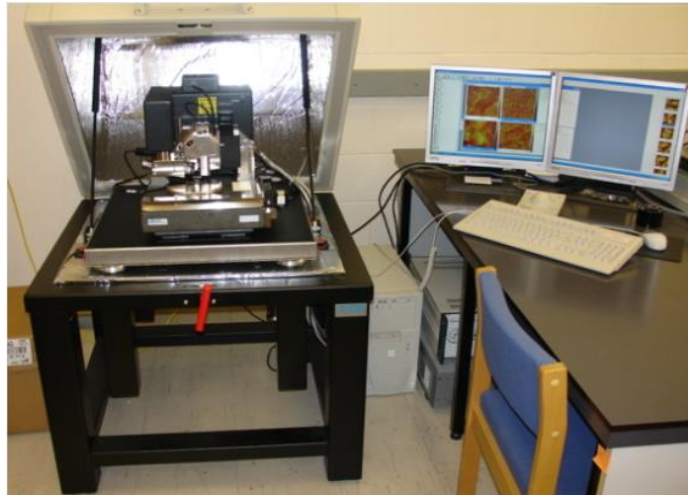
Калібри повинні мати дві поверхні – прохідні і непрохідні. Різниця між розмірами прохідної і непрохідної сторін калібру відповідає допуску на контрольований розмір поверхні деталі. Для контролю різьби використовують різьбові калібри.

Для підвищення продуктивності процесу обробки деталей використовують для вимірювання засоби механізації і автоматизації, зокрема засоби контролю. Сучасні багатоцільові металорізальні верстати з ЧПК можуть мати засоби контролю розмірів безпосередньо на верстаті. Для цього використовують датчики дотикання, які монтуються в інструментальній оправці, що встановлюється в гнізді магазину інструментів верстату. Параметри профілю мікрорельєфу визначають у

відповідності з міжнародним стандартом ISO 4287, а параметри топографії мікрорельєфу – ISO25178. Для вимірювання мікрорельєфу поверхні використовують оптичні профілометри (рис. 1.9а) та мікроскопи, електронні мікроскопи, цифрові мікротвердоміри, атомно-силові мікроскопи (рис. 1.9б).



а)



б)

Рис. 1.9 Зовнішній вигляд оптичного профілометра (а) та атомно-силового мікроскопу (б)

Оптичні профілометри, що відтворюють у збільшеному масштабі профіль поверхні на екрані, інтерференційні тривимірні та лазерні сканувальні, що дозволяють будувати дво- та тривимірне зображення поверхні, отримувати кількісні характеристики рельєфу поверхні, спостерігати інтерференційні картини, проводити металографічні дослідження.

Вимірювання шорсткості поверхні на атомному силовому мікроскопі (рис. 1.9б) заснований на принципі оцупування досліджуваної поверхні алмазною голкою щупа з малим радіусом округлення і перетворення виникаючих при цьому механічних коливань щупа в зміну електричного сигналу, пропорційного цим коливанням.

1.6 Основні запитання

1. Який шар називається поверхневим?
2. Що таке дефекти поверхні?
3. Якими параметрами оцінюють хвилястість поверхні?
4. Які напруження називають залишковими?
5. Що таке технологічний процес, технологічна операція, технологічний перехід та робочий хід?
6. Деталізація складових технологічної операції і процесу обробки при використанні верстатів з ЧПК?
7. Який порядок визначення складових операції?
8. Які вам відомі інструменти для вимірювання лінійних величин?
9. Яка точність при вимірюванні штангенциркулем та мікрометром?
10. Яка послідовність дій при вимірюванні мікрометром деталей?

РОЗДІЛ 2 ОСНОВИ РОЗРОБКИ КЕРУЮЧИХ ПРОГРАМ ДЛЯ ОБЛАДНАННЯ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ

2.1 Основи програмування на верстатах з числовим програмним керуванням

Системи числового програмного керування – це сукупність спеціалізованих пристроїв методів і засобів, необхідних для роботи верстату, яка призначена для видачі керуючих дій виконуючим органом верстата у відповідності з керуючою програмою. Стандартна система керування верстатом з ЧПК представлена на [рис. 2.1](#).

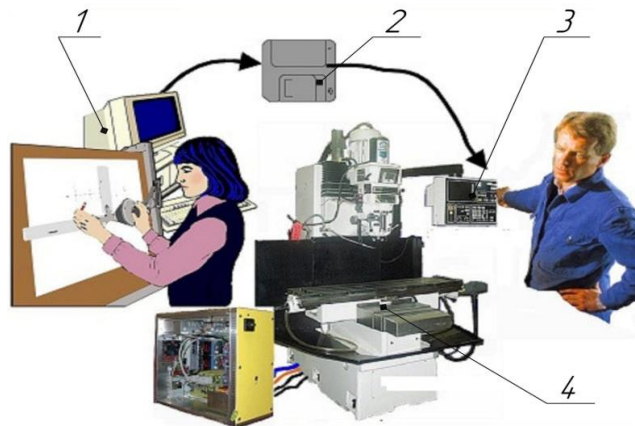


Рис. 2.1 Стандартна система керування верстатом з ЧПК:
1 – CAD/CAM програма; 2 – підпрограма; 3 – контролер; 4 – верстат

Дизайнер деталей використовує головним чином CAD/CAM програми 1. Отриманий цими програмами результат – підпрограму 2, яка представлена у вигляді G-коду, передається у контролер верстата 3. Контролер верстата переводить підпрограму у вид, який підходить для керування ріжучим інструментом. Вісі верстата приводяться в рух від серво- або шагових двигунів. Драйвери перевіряють чи достатньо потужні та допустимі в часі сигнали, які поступають від контролера верстату ([рис. 2.1](#)).

Керуюча програма (КП) має координати точок траєкторії інструменту, значення швидкості різання V або частоти обертання шпинделя S ,

подачі F , а також технологічні команди (зміна інструменту, увімкнення охолодження та інш.).

При записуванні кадрів під словом програми мають на увазі послідовність символів, що розглядаються в певному зв'язку як єдине ціле. Воно складається з адреси, яка позначена літерою, і числа, що відображає або величину переміщення, або швидкість подачі, або код якоїсь іншої функції. Наприклад, слово $Y+013345$ означає переміщення супорта верстата в позитивному напрямку осі Y на величину 13345 імпульсів, що при дискретності 0,01 мм/імп означає переміщення на 133,45 мм. Частина слова керуючої програми, яка визначає призначення наступних за ним даних, що містяться в цьому слові називають адресою. Фразу складають кілька слів, що описують обробку певної ділянки заготовки. Вона містить інформацію про геометричні та технологічні параметри, необхідних для обробки певної ділянки або для виконання допоміжних функцій (початок програми, підвід інструменту та інш.). У програмі послідовність фраз визначає послідовність обробки окремих ділянок заготовки (деталі). Програма може бути записана двома способами: за фразами постійної і змінної довжини. Фрази постійної довжини називають кадрами. Послідовність слів, які розташовані у певному порядку та несуть інформацію про технологічну операції називають кадром програми. Кожному слову при записі програми кадрами відведено певне число рядків.

Основними етапами підготовки КП є: розробка технологічної операції (схеми установки і закріплення деталі, схеми обробки, інструмент, режими різання – 20...30% трудовитрат); розрахунок керуючої інформації (геометричної і технологічної – 40...45%)); а також кодування, контроль і налагодження – 20...25%.

Для програмування руху інструменту необхідно провести розрахунок координат характерних точок траєкторії – так названих опорних точок, в

яких змінюється напрямлення або/і швидкість руху інструменту або видаються технологічні команди. Розрахунок виконується на основі відомої геометрії оброблюваної поверхні з урахуванням форми інструменту – як правило, програмуються вершини фрези або центра скруглення, тобто еквідистанти до перерізу деталі.

Для верстатів з ЧПК запис програми здійснюють на програмоносій (перфострічках, перфокартах, магнітних стрічках). Єдині для всіх видів верстатів правила кодування інформації КП на носії даних здійснюється згідно міжнародних стандартів ISO.

Керуюча програма – представляє собою послідовність кадрів (кодів). Кожна стрічка програми називається кадром. Склад кадру – номер і одне або декілька інформаційних слів. Структура керуючої програми та кадру для будь-якої системи ЧПК представлена на [рис. 2.2](#).



Рис. 2.2 Структура керуючої програми та кадру

На початку та в кінці програми ставиться знак «%», що визначає область, де знаходиться програма. Потім йде заголовок програми, який позначається буквою «O» або «:» з наступним номером (максимум 4 цифри). Кожний кадр завжди закінчується символом «;». Закінчення програми є команди M2, M30 або M99. Умовно запис формату керуючої програми показує, як слід формувати його при конкретному програмуванні для даного верстату.

Перед кодуванням інформації виконують умовно запис кадру, використовуючи для цього літерні, графічні і цифрові символи, які наведено в [таблиці 2.1](#) та [додатку 2.1](#).

Таблиця 2.1 Кодові символи

Символ	Значення
A	Кут повороту навколо вісі X
B	Кут повороту навколо вісі Y
C	Кут повороту навколо вісі Z
F	Перша функція подачі
G	Підготовча функція
I	Параметр інтерполяції або крок різьби паралельно вісі X
J	Параметр інтерполяції або крок різьби паралельно вісі Y
K	Параметр інтерполяції або крок різьби паралельно вісі Z
M	Допоміжна функція
N	Номер кадру
S	Функція головного руху
T	Перша функція інструменту
U	Вторинна довжина переміщення, паралельного вісі X
V	Вторинна довжина переміщення, паралельного вісі Y
W	Вторинна довжина переміщення, паралельного вісі Z
X	Первинна довжина переміщення, паралельного вісі X
Y	Первинна довжина переміщення, паралельного вісі Y
Z	Первинна довжина переміщення, паралельного вісі Z
%	Початок програми
;	Пропуск кадру
:	Головний кадр

Розмірні переміщення задаються в послідовності X,Y, Z (U, V, W, R, Q, R) – лінійні; I, J, K – кругові; A, B, C(D, E) – кутові. Числа після адресів задають або абсолютні розміри, або приріст в залежності від установок підготовчих функцій. Значення I, J, K залежать від способу задання дуги. Описи містять прототипи команд, які написані іншим шрифтом.

Таким чином, типова структура кадру містить:

- порядковий номер кадру: Nxx, де xx – ціле десяткове число.
- підготовча функція: Gxx.

Всі підготовчі функції (G-коди) розбиті на 9 груп:

Група I: G00 – позиціонування (швидкий хід в точку);

G01 – лінійна інтерполяція;

G02, G03 – кругова інтерполяція в прямому або зворотному напрямках;

Група II: G17...G19 – вибір площини кругової інтерполяції (XY, ZX, YZ);

Група III: G40...G52 – корекція на діаметр або радіус інструменту;

Група IV: G53...G59 – корекція на довжину або положення інструменту;

Група V: G60...G62 – точне та швидке позиціонування;

Група VI: G80...G89 – стандартні цикли обробки отворів;

Група VII: G90 – розрахунок в абсолютних координатах; G91 – розрахунок у відносних координатах; G92 – установка «плаваючого нуля»;

Група VIII: G94, G95 – одиниці вимірювання подачі (мм/хв, мм/об);

Група IX: G96, G97 – одиниці вимірювання швидкості різання (м/хв, об/хв).

В кадрі може бути декілька підготовчих функцій, але із різних груп. Функція діє до тих пір, поки не буде відмінена іншою функцією із тієї ж групи. Підготовчі функції (G-коди) приведено в [додатку 2.2](#). А основні підготовчі функції приведено в [табл. 2.2](#).

Таблиця 2.2 Підготовчі функції (G-коди)

Позначення	Опис
G00	Лінійна інтерполяція при прискореному переміщені
G01	Лінійна інтерполяція з швидкістю подачі
G02	Кругова інтерполяція по годинниковій стрілці
G03	Кругова інтерполяція проти годинникової стрілки
G17	Вибір площини X_Y
G18	Вибір площини Z_X
G19	Вибір площини Y_Z
G20	Використання дюймів
G21	Використання міліметрів
G90	Програмування в абсолютних координатах
G91	Програмування в відносних координатах
G94	Програмування подачі в мм/хв
G95	Програмування подачі в мм/об

Подача (Fxxx) може задаватися числовим значенням або кодом, розмірність у відповідності з установкою G94 або G95. Можливе задання як результуючої швидкості подачі, так і її складових по осях координат (в останньому випадку використовуються адреса F, E, D).

Швидкість головного робочого руху (Sxxx) також може бути задана числовим значенням або кодом, розмірність у відповідності G96, G97.

Функція інструменту (Txxx) служить для вказівки номера інструменту та його коректору. Звичайно перші 2 знака – № інструменту, другі 2 – № коректору.

Допоміжна функція (Mxx) визначає команди для виконуючих органів верстату (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 Допоміжні функції (М-коди)

Позначення	Опис
M0	Запрограмована зупинка
M1	Зупинка за вимогою програми
M2	Зупинка КП, повернення робочих органів в вихідне положення
M3/4	Контроль шпинделя (рух шпинделя за годин. стрілкою/проти годин. стрілки)
M5	Зупинка шпинделя
M6	Зміна інструменту
M7	Увімкнення охолодження (рідина)
M8	Увімкнення охолодження (повітря)
M9	Вимкнення охолодження
M10, M11	Затиснення /розтиснення стола або шпинделя
M30	Закінчення програми
M36, M38	Вибір діапазону подачі або швидкості і інш.
M47	Запущений повторно від першої лінії
M48	Відкинути контроль подачі та швидкості
M49	Перевизначити або відкинути контроль подачі та швидкості
M98	Введення підпрограми
M99	Вихід із підпрограми

В верстатах з ЧПК управління здійснюється від програмоносія, на який в числовому виді занесена геометрична і технологічна інформація.

Системи ЧПК – це сукупність спеціалізованих пристроїв методів і засобів, необхідних для роботи верстату, що призначена для видачі

керуючих дій виконуючим органом верстату у відповідності з керуючою програмою. Структурна схема системи ЧПК представлена на [рис. 2.3](#).

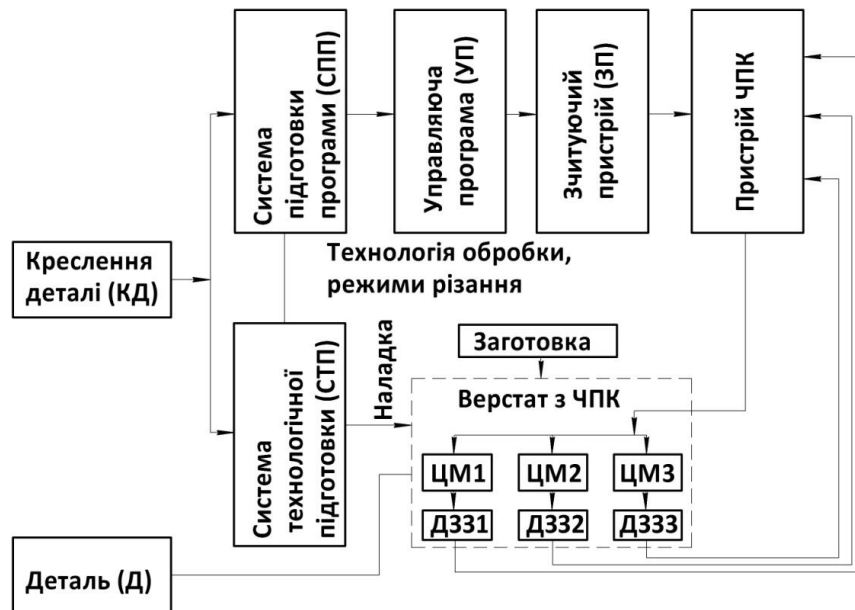


Рис. 2.3 Структурна схема системи ЧПК

Креслення деталі (КД) одночасно вводиться в систему підготовки програми (СПП) і систему технологічної підготовки (СТП). СТП забезпечує СПП даними про розроблюваний технологічний процес, режими різання та інші. На основі цих даних розробляється керуюча програма (КП). Наладчики встановлюють на верстат пристрої, ріжучі інструменти у відповідності з документацією СТП. А установку заготовки і зняття головної деталі здійснює оператор.

Зчитувальний пристрій (ЗП) зчитує інформацію з програмоносія. Інформація поступає в пристрій ЧПК, який видає управляючі команди на цільові механізми (ЦМ) верстата, здійснюючі основні і допоміжні рухи циклу обробки. ДЗЗ (датчики зворотного зв'язку) на основі інформації (фактичне положення, швидкість переміщення виконуючих вузлів, фактичний розмір оброблюваної поверхні, теплові і силові параметри технологічної системи та інші) контролюють величину переміщення цільових механізмів (ЦМ).

Верстат має декілька цільових механізмів, кожний з яких включає в себе двигун, який являється джерелом енергії, передачі яка служить для перетворення енергії і її передачу від двигуна до виконуючого органа (стіл, салазки, супорт, шпиндель та інш.), а також координатні переміщення.

Система ЧПК може видозмінюватись в залежності від виду програмоносія, способу кодування інформації в керуючій програмі і метода її передачі в систему ЧПК. Пристрій ЧПК розміщують рядом з верстатом або безпосередньо на верстаті. Двигуни приводів подач верстатів з ЧПК мають спеціальну конструкцію, працюючи з конкретним пристроєм і являються складовою частиною ЧПК.

Всі дані необхідні для обробки заготовки на верстаті ЧПК отримує від КП, яка має два види інформації – геометричну і технологічну. Геометрична інформація: координати опорних точок траєкторії руху інструменту. Технологічна інформації: дані про швидкість, подачу, номер інструменту. КП записують на програмоносії.

Важливою технічною характеристикою систем ЧПК є її дозвільна властивість або дискретність, тобто мінімально можлива величина лінійного та кутового ходу виконуючого механізму верстата, яка відповідає одному управляючому імпульсу, тобто контрольована в процесі керування. Більшість сучасних систем ЧПК мають дискретність 0,01 мм/імпульс. Впроваджується у виробництво системи з дискретністю 0,001 мм/імпульс.

Системи ЧПК класифікуються по таким ознакам:

- по рівню технічних можливостей;
- по технологічному призначенню;
- по числу потоків інформації (незамкнуті, замкнуті, адаптивні);
- по принципу задання програм (в абсолютних координатах або в прирощених від електронно-обчислювальної машини (ЕОМ));

- по принципу привода (ступінчастий, корегуючий, відслідковуючий-кроковий);
- по числу одночасно керуючих координат;
- по способу підготовки і вводу керуючої програми.

Розробка керуючої програми зводиться до визначення технологічної послідовності стандартних блоків обробки. Блок обробки – це фрагмент керуючої програми, яка виконується одним інструментом на одній або декількох поверхнях. Наприклад: підрізка торця; зовнішня чорнова обробка; зовнішня чистова обробка; центрування; свердління; нарізання різьби мітчиком; нарізання зовнішньої різьби різцем; відрізка та інш.

Кожний блок складається з координати точки зміни інструменту, підходу до контрольної точки, обробки, відведення в точку зміни інструменту.

Всі блоки записані у вигляді окремих файлів і зберігаються в будь-якій зручній папці. Якщо важко розробити керуючу програму з листа креслення, то можна спочатку записати послідовність блоків обробки у вигляді таблиці з вказаним в ній режимів різання у відповідності з вибраним інструментом.

По технологічному призначенню і функціональним можливостям системи ЧПК поділяють на 4 групи:

- позиційні, в яких задають тільки координати кінцевих точок положення виконуючих органів після виконання ними визначених елементів робочого циклу;
- контурні або безперервні, керуючих рухами виконуючого органа по заданій криволінійній траєкторії;
- універсальні (комбіновані), в яких здійснюється програмування як переміщень при позиціонуванні, так і рух виконуючих органів по траєкторії, а також зміни інструментів та завантаження (вивантаження) заготовок;

- багатоконтурні системи, забезпечуючи одночасне або послідовне керування функціонуванням ряду вузлів і механізмів верстату.

Прикладом використання систем ЧПК першої групи є свердлильні, розточні та координатно-розточні верстати. До другої групи слугують системи ЧПК різних токарних, фрезерних і круглошліфувальних верстатів. До третьої групи відносяться системи ЧПК різних багатоцільових токарних і свердлильно-розточних верстатів. До четвертої групи належать без центрові круглошліфувальні верстати, в яких від системи ЧПК керують різними механізмами правки, подачі бабок та інш. Існують також позиційні, контурні, комбіновані та багатоконтурні цикли керування.

В моделях верстатів з ЧПК для призначення ступеня автоматизації додається буква Ф з цифрою:

- Ф1 – верстати з цифровою індексацією і попереднім набором координат;
- Ф2 – верстати з позиційними і прямокутними системами ЧПК;
- Ф3 – верстати з контурними системами ЧПК;
- Ф4 – верстати з універсальною системою ЧПК для позиційної і контурної обробки.

Для верстатів з цикловими системами ЧПК в позначені моделі введемо індекс «Ц», а з оперативними системами індекс – «Т».

Використання конкретного виду обладнання з ЧПК залежить від складності виготовлюваної деталі і серійності виробництва. Чим менша серійність, тим більшу технологічну гнучкість повинен мати верстат.

2.2 Визначення параметрів програмування кола та особливості фрезерування кола і канавок

Деталі, які обробляються на верстаті з ЧПК можна розглядати, як геометричні об'єкти. Під час обробки заготовка і інструмент, який обертається, переміщуються відносно один одного по деякій

траєкторії (рис. 2.4а). Керуюча програма (КП) описує рух визначеної точки інструменту – його центру. Траєкторію інструменту представляють складовою із окремих перехідних один в одну ділянок. Ці ділянки можуть бути прямими лініями, колами, дугами кіл, криві другого і вищих порядків. Точки перетину цих ділянок називаються опорними або вузловими точками. Як правило, в КП містяться координати саме опорних точок.

Будь-яку деталь можна представити у виді сукупності геометричних елементів. Для створення програми обробки необхідно визначити координати опорних точок (рис. 2.4б).

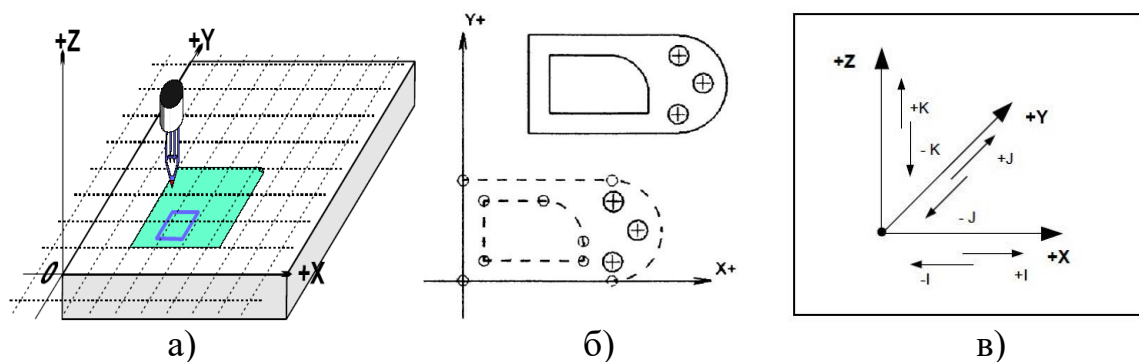


Рис. 2.4 Схема координатної системи верстата (а), схема координат опорних точок (б) та параметри для програмування (в)

Коди G02 та G03 призначені для виконання кругової інтерполяції. Код G02 використовується для переміщення по дузі за годинниковою стрілкою, а G03 - проти годинникової стрілки.

Є два способи для формування кадру кругової інтерполяції:

G02 X__ Y__ Z__ I__ J__ K__ F__

G02 X__ Y__ Z__ R__ F__

У першому варіанті для виконання кругової інтерполяції переміщення вказують: код G02(G03); координати кінцевої точки дуги; I, J, K – слова даних (параметри інтерполяції) та швидкість робочої подачі F. А в другому варіанті замість I, J, K вказують R. Вибір варіанту запису кадру кругового переміщення залежить від можливостей ЧПК і звички програміста. Більшість сучасних верстатів з ЧПК підтримують обидва варіанти.

В кадрі з кодом кругової інтерполяції необхідно вказувати координати кінцевої точки переміщення (дуги). Якщо крім X і Y в кадрі є Z слово даних, то це означає, що виконується гвинтова інтерполяція. Гвинтова інтерполяція, яка підтримується не всіма система ЧПК, дозволяє виконувати фрезерування різьби і забезпечує плавне гвинтове врізання інструменту в матеріал заготовки.

Коло, яке задане координатами центра, проходить через початкову A і кінцеву E його точку. Координатні вісі, які використовуються в процесі кругової інтерполяції, мають параметри I , J і K , що відповідають відповідним осям. Параметри встановлюють відстань між початковою точкою і центром M дуги кола в напрямку, який паралельний осям. Знак визначається в напрямку вектора від A до M (рис. 2.4в). Стандартне визначення параметрів зображено на рис. 2.4б.

На рис. 2.4в: $I = M(X) - A(X)$; $J = M(Y) - A(Y)$; $K = M(Z) - A(Z)$ – параметри інтерполяції; X , Y , Z – координатні вісі, яким задані відповідні параметри I , J , K ; M – центр кола, який заданий відносно початкової точки дуги кола.

Існують різні приклади програмування кругової інтерполяції.

Кадр для прикладу дуги кола за годинниковою (рис. 2.5а):

$N...G90G17G2X350Y250I200J-50F...S...M...;$

де P – нульова точка координатної системи (PCS – координатна система керуючої програми); W – нульова точка координатної системи деталі (PCS – координатна система деталі); N – порядковий номер; $G90$ – програмування в абсолютних координатах; $G17$ – програмування в площині X_Y ; $G2$ – кругова інтерполяція за годинниковою стрілкою; $X350Y250$ – координати по вісі від 0 (P/W) до 350 по вісі X і відповідно 250 по вісі Y ; $I200$ – параметр, який відповідає вісі X і дорівнює 200 мм; $J-50$ – параметр, який відповідає вісі Y і дорівнює

-50 мм; F...S...M... – відповідно функція подачі, шпинделя і допоміжна функція.

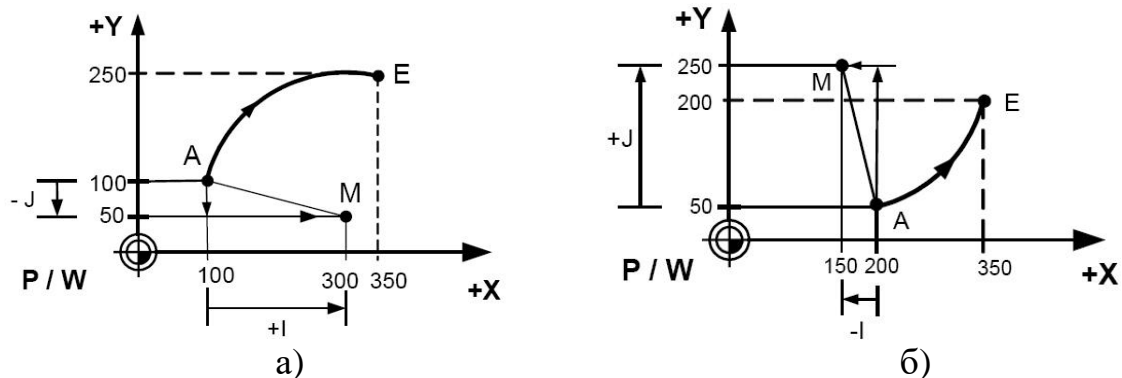


Рис. 2.5 Програмування дуги кола за годинниковою (а) і проти годинникової стрілки (б)

Кадр для прикладу дуги кола проти годинникової стрілки (рис. 2.5б):

N...G90G17G3X350Y200I-50J200F...S...M...;

де G3 – кругова інтерполяція проти годинникової стрілки;

Кадр для прикладу чверті кола (рис. 2.56а):

N...G17G2X...Y...J-...F...S...M...;

Особливість: Один із параметрів інтерполяції завжди дорівнює нулю, і немає потреби записувати його в програмі. Тут цей параметр I.

Кадр для прикладу півкола (рис. 2.6б):

N...G17G3X...I...F...S...M...;

Особливість: По вісі Y координати початкової і кінцевої точок співпадають. Переміщення по цій координаті в кадрі не вказують, як і параметр інтерполяції J.

Кадр для прикладу кола (рис. 2.6в):

N...G17G2I...F...S...M...;

Особливість: Координати початкової і кінцевої точок співпадають. Приріст по обом координатам вказувати в кадрі не потрібно. Якщо початкова і кінцева точки лежать на границі квадратів, то один із параметрів інтерполяції буде дорівнювати нулю, і його можна не

вказувати. Так і в приведеному прикладі можуть бути опущені функції X, Y та J.

Більш простий спосіб надання радіусу дуги є застосування адреси R (радіусу) (рис. 2.6г,д). Якщо ваша стійка підтримує такий формат для кругової інтерполяції, система числового програмного керування (СЧПК) самостійно проведе необхідні розрахунки для визначення координат центра дуги. Більшість СЧПК при роботі з R потребують, щоб коло було розбито на декілька сегментів.

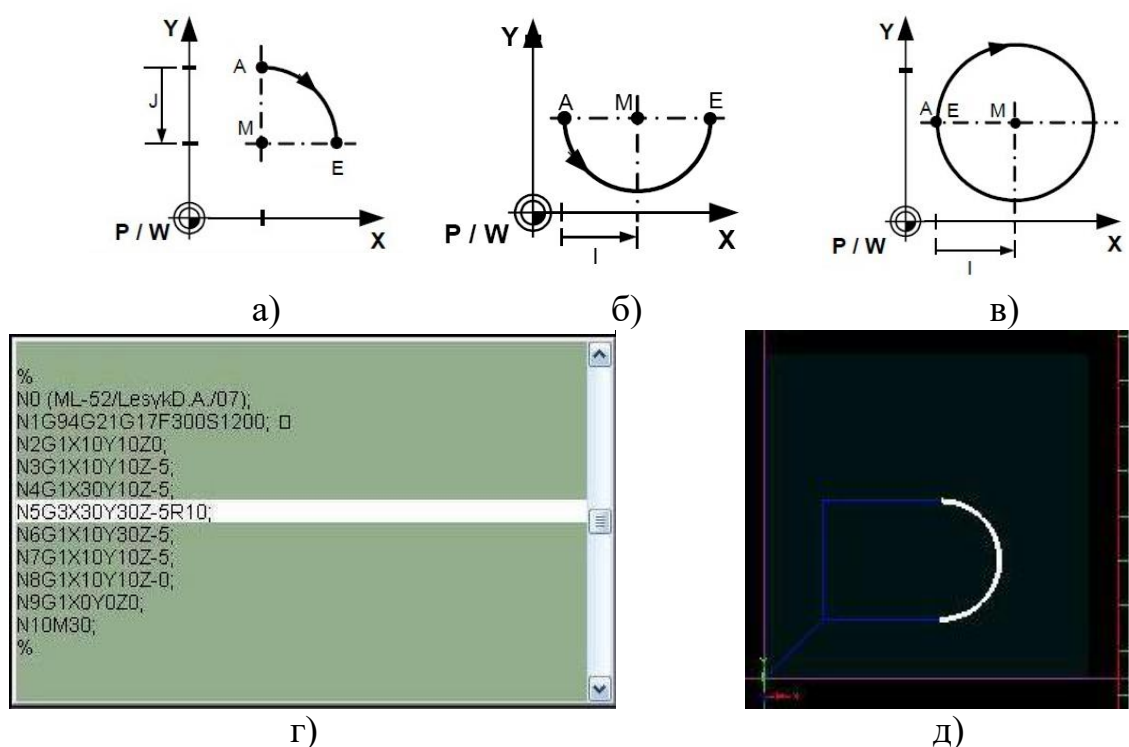


Рис. 2.6 Приклади програмування чверті кола (а), півкола (б), повного кола (в) параметрами інтерполяції та керуюча програма в системі Mach3 (г) для програмування півкола радіусом R (д)

Радіус завжди задають у відносних координатах; у відмінності від кінцевої дуги точки, яка може бути задана як у відносних координатах, так і в абсолютних координатах.

Використовуючи положення початкової A і кінцевої E точок, а також значення радіуса, система ЧПК перш за все визначає координати центра кола. Результатом розрахунку можуть бути координати двох точок, ML

та MR (рис. 2.7), розташованих відповідно зліва та справа від прямої, яка з'єднує початкову та кінцеву точки.

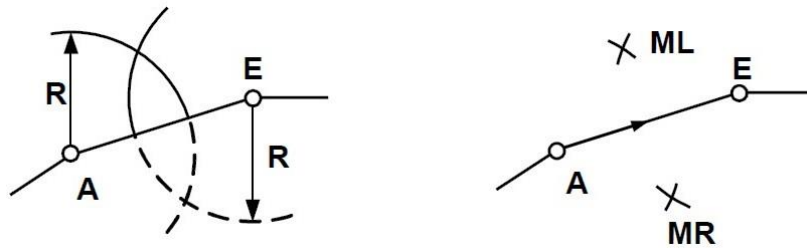


Рис. 2.7 Координати двох точок: А – початкова точка, Е – кінцева точка,
R – радіус, ML – лівий центр, MR – правий центр

Розташування центру кола залежить від знака радіуса; при позитивному радіусі центр буде знаходитись зліва, а при негативному радіусі – справа. Розташування центру визначається також адресою G02 та G03 (рис. 2.8).

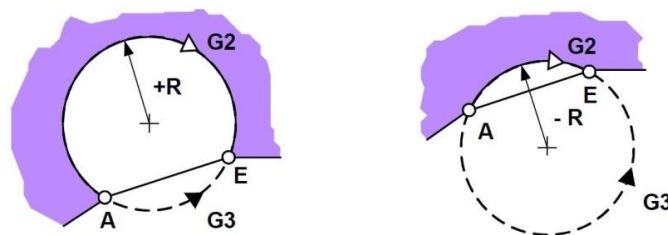


Рис. 2.8 Розташування центру кола

Як бачимо на рис. 2.8, величина радіусу має бути, по крайній мірі, вдвічі більшою, чим довжина відрізка, яка з'єднує початкову та кінцеву точки дуги кола. Особливим випадком є рівність відрізка подвійному значенню радіуса. Це випадок відповідає, коли задаємо півкола. Знак радіусу при цьому немає значення. Програмування повного кола через задання радіуса неприпустимо.

На рис. 2.9 приведено програму для обробки канавки (паза) глибиною 1 мм. Для обробки канавки спочатку потрібно перемістити фрезу в точку T1 та опустити її на відповідну глибину. Далі необхідно переміщати фрезу послідовно через всі опорні точки і вивести інструмент

у верх із матеріала заготовки. Координати всіх опорних точок канавки приведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 Координати опорних точок канавки

Точка	Координати по вісі X	Координати по вісі Y
T1	30	80
T2	30	30
T3	70	30
T4	70	80

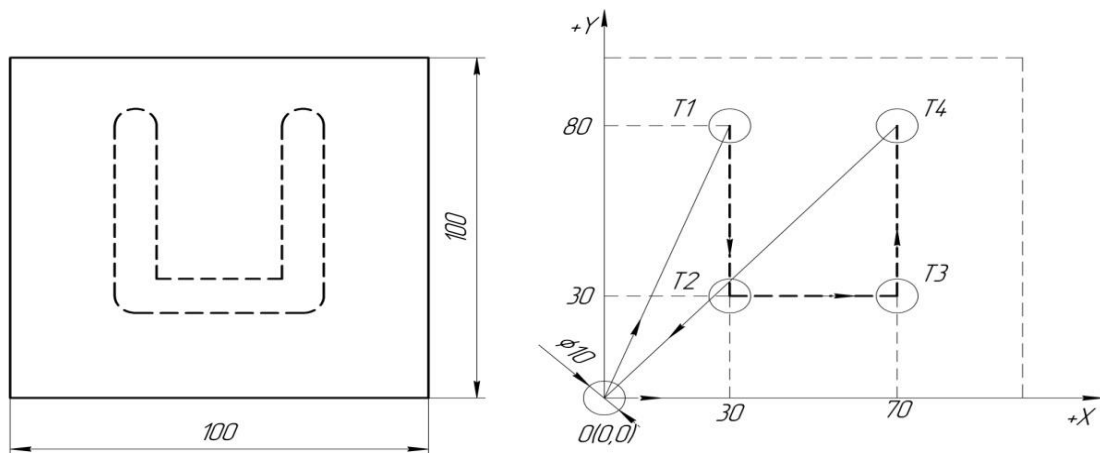


Рис. 2.9 Ескіз заготовки та розташування її в прямокутній системі координат

Спочатку ріжучий інструмент підводиться до першої опорної точки:

N05G00X30Y80

Наступні два кадри змушують інструмент опуститися на необхідну глибину в матеріал заготовки:

N06G00Z0.5

N07G1Z-1F250

Як тільки інструмент опиниться на необхідній глибині (1 мм) можна переміщати його через всі опорні точки для обробки канавки:

N08G01X30Y30

N09G01X70Y30

N010G01X70Y80

Тепер слід вивести інструмент із матеріалу заготовки – підняти на невелику висоту:

N011G01Z5

Потім інструмент переміщується в нульову (вихідну) точку *O* при прискореній швидкості подачі:

N012G00X0Y0Z0

Кінцевий варіант програми для обробки канавки з урахуванням декількох допоміжних команд приведено у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 Програма для обробки канавки

Кадри КП	Пояснення
%	Символ початку програми
N00 (Назва програми);	Номер програми (00) і її назва (...), ; - пропуск кадру
N01G17G21G90G94;	Стрічка безпеки (G17 – площина X_Y, G21 – програмування в мм, G90 – в абсолютних координатах, G94 – швидкість переміщення в мм/хв)
N02M6T1;	Виклик інструменту №1 (Фреза D1)
N03G43H1;	Компенсація довжини інструменту №1
N04M3S800;	Увімкнення обертів шпинделя (800 об/хв)
N05G00X30Y80;	Прискорене переміщення в опорну точка T1
N06G00Z-1;	Прискорене переміщення інструменту в Z-1 T1
N07G01Z-6F200;	Переміщення на глибину -6 мм при подачі 200 мм/хв
N08G01X30Y30;	Переміщення інструменту в упорну точку T2
N09G01X70Y30;	Переміщення інструменту в упорну точку T3
N10G01X70Y80;	Переміщення інструменту в упорну точку T4
N11G01Z-1;	Виведення інструменту у верх на Z-1
N12G00X0Y0Z0;	Прискорене переміщення в нульову точку O
N12M5;	Виключення обертів шпинделя
N13M30;	Завершення програми
%	Символ завершення програми

Для фрезерування канавки зазвичай обирають абсолютну систему координат станка, а деталь розміщують в межах робочого поля фрези відносно цієї системи. Для визначення координат позначають на деталі контактні точки фрези. Деталь розміщують на робочому столі, так щоб координати мали цілі числа. У вихідному положенні фреза знаходиться в точці *O* з координатами (0 – по вісі X, 0 – по вісі Y). Потім фреза

переміщається в точку А (40, 25) (рис. 2.10а). Точка яка найближча до точки О і буде точкою А. Всі наступні точки позначаються з відповідністю геометрії канавки і напрямку руху фрези, яку необхідно отримати.

Програма для фрезерування канавки (рис. 2.10а):

% (Символ початку програми)

N00 (Назва програми);

N01G17G21G40G49G54G80G90G94;

N02M6T1(Фреза D1); (Виклик інструменту №1);

N03G43H1; (Компенсація довжини інструменту №1);

N04M3S800; (Увімкнення обертів шпинделя (800 об/хв));

N05G00X40Y25Z0; (Переміщення фрези із точки О(0.0) в точку А(40.25));

N06G01X40Y25Z-5 F100; (Заглиблення фрези по вісі Z = -5 мм в точці А(40.25) при подачі 100 мм/хв);

N07G01X80Y25Z-5; (Переміщення фрези із точки А(40.25) в точку Б(80.25) (100 мм/хв));

N08G01X80Y55Z-5; (Переміщення фрези із точки Б(80.25) в точку В(80.55) (100 мм/хв));

N09G01X40Y55Z-5; (Переміщення фрези із точки В(80.55) в точку Г(40.55) (100 мм/хв));

N10G01X40Y25Z-5; (Переміщення фрези із точки Г(40.55) в точку А(40.25) (100 мм/хв));

N11G01X40Y25Z0; (Переміщення фрези по вісі Z = 0 мм в точці А(40.25), тобто відведення фрези у верх на Z3 (100 мм/хв));

N12G00X0Y0Z0; (Переміщення фрези із точки А(40.25) в точку О(0.0));

N10M30; (Закінчення програми і переміщення на початок програми);

% (Символ завершення програми).

Програми для фрезерування канавки по прямій і чверті кола за годинниковою (рис. 2.10в) і проти годинникової стрілки (рис. 2.10г), а

також о прямій і півкола проти годинникової (рис. 2.10д) без допоміжних кадрів приведено у додатку 2.3.

Програма для фрезерування канавки по прямій і півкола за годинниковою стрілкою без допоміжних кадрів (рис. 2.10е) складається подібно до програми (рис. 2.10д). В цьому випадку фреза переміщується за годинниковою стрілкою (G2).

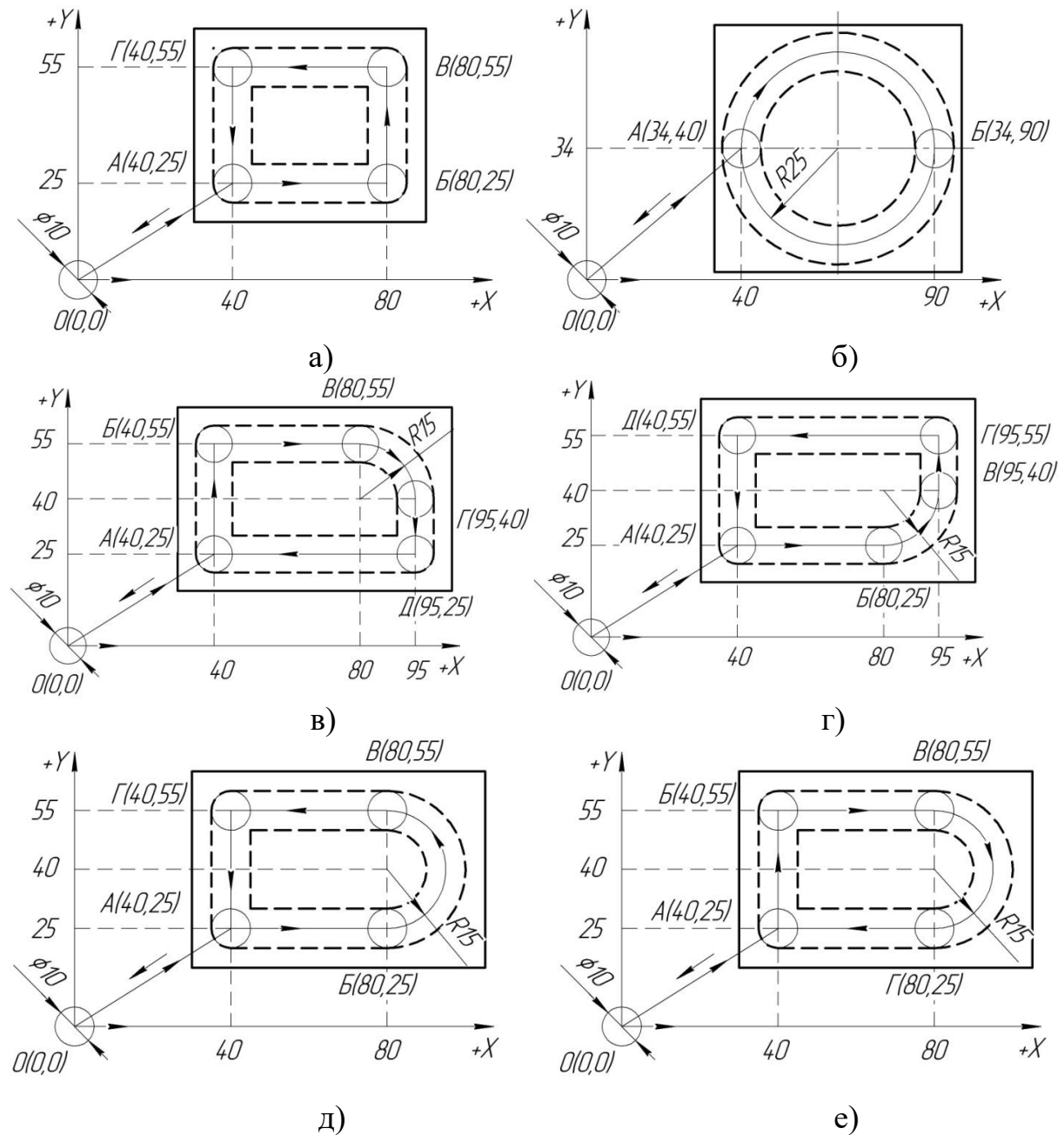


Рис. 2.10 Фрезерування канавки по прямій (а), по колу (б), по прямій і чверті кола за годинниковою (в) і проти годинникової стрілки (г), по прямій і півкола проти годинникової (д) та за годинниковою стрілкою (е)

2.3 Складання програми для обробки зовнішнього контуру деталей та свердління отворів

При обробці фрезою діаметром 10 мм зовнішнього контуру деталі (рис. 2.11а) різання відбувається боковою (циліндричною) поверхнею фрези, то центр фрези буде зміщений на відстань, яка дорівнює радіусу (5 мм) вліво відносно оброблюваного контуру. Фреза переміщується послідовно через точки 1, 2, 3 і 4 (рис. 2.11б).

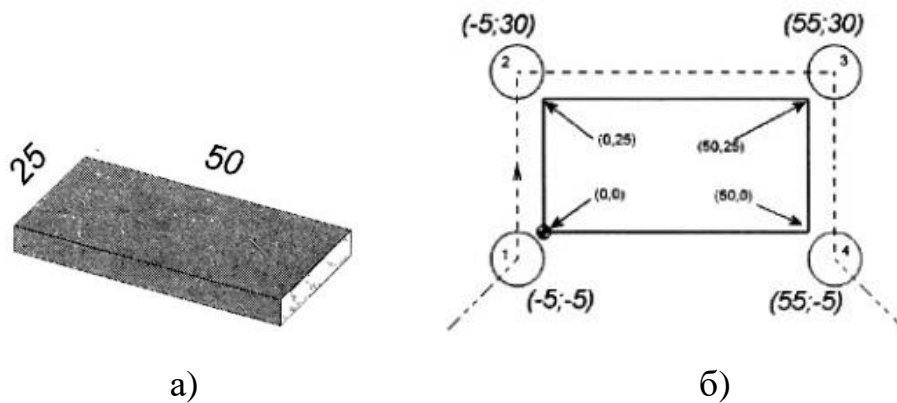


Рис. 2.11 Зовнішній вигляд деталі (а) та схема обробки деталі по еквідистантній траєкторії (б)

Так як в програмі обробки вказується координати центра інструменту, то її можна представити в спрощеному вигляді:

...;

G01X-5Y-5 (переміщення фрези в позицію 1);

G01X-5Y30 (переміщення фрези в позицію 2);

G01X55Y30 (переміщення фрези в позицію 3);

G01X55Y-5 (переміщення фрези в позицію 4);

...;

На відмінно від схеми обробки деталі по еквідистантній траєкторії, відома також схема обробки, де опорні точки траєкторії фрези співпадають з опорними точками контуру деталі (рис. 2.12) без будь-яких зміщень відносно деталі.

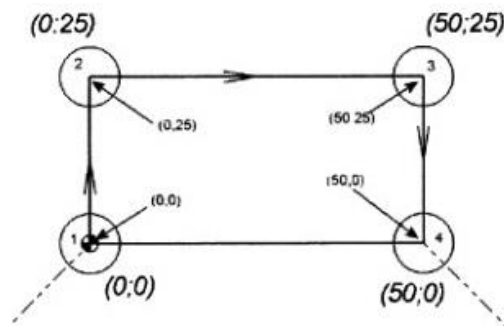


Рис. 2.12 Опорні точки траєкторії співпадають з опорними точками контуру деталі

Тоді керуюча програма буде виглядати так:

...;

G01X0Y0 (переміщення фрези в позицію 1);

G01Y0 (переміщення фрези в позицію 2);

G01X50 (переміщення фрези в позицію 3);

G01Y0 (переміщення фрези в позицію 4);

...;

Очевидно, що така програма не забезпечить правильної обробки. Необхідно, щоб траєкторія руху центра інструменту була зміщена відносно контуру на величину радіуса. Система ЧПК здатна самостійно розраховувати і виконувати таке зміщення – корекцію на радіус інструменту. Для здійснення автоматичної корекції на радіус інструменту потрібно повідомити системі величину радіуса інструменту і в керуючій програмі вказати відповідний G код. Код G41 використовується для корекції інструменту зліва, а код G42 – для корекції справа. Відміна корекції – G40.

Код G81 призначений для виклику стандартного циклу свердління. Наступний кадр демонструє типовий формат цього циклу:

G81X10Y15Z-3R0.5F50

Адреса X і Y визначає координати оброблюваних отворів. Адрес Z вказує кінцеву глибину свердління, а R використовується для установки

площини відводу. Площина відводу – це координати по вісі Z, де розпочинаються свердління на робочій подачі і в яку повертається інструмент, після того, як він доставить дно оброблюваного отвору. Площина відводу встановлюється трохи вище поверхні деталі, тому значення R завжди позитивне. Не потрібно встановлювати площину відводу дуже високо, тому що свердло на робочій подачі буде переміщатися занадто довго. Робоча подача для циклу встановлюється за допомогою F слова даних.

При свердлінні отворів необхідно розрізнити площину відводу і вихідну площину. Ці дві площини використовуються для керування переміщеннями по вісі Z між отворами. Вихідна площина – це координата (рівень) по вісі Z в якій розміщується інструмент перед викликом постійного циклу. Код G98 використовується для роботи з вихідною площиною, а код G99 – з площиною відводу (рис. 2.13).

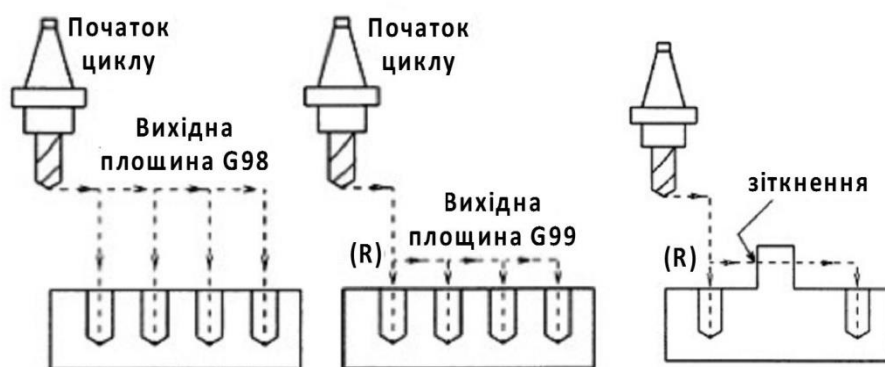


Рис. 2.13 Використання кодів G98 та G99

Наприклад, інструмент знаходиться в координаті Z20 в момент виклику циклу свердління. Тоді вихідна площина буде розміщуватися на відстані 20 мм і вище нульової точки по вісі Z. Тобто для встановлення вихідної площини не потрібно вказувати будь-які спеціальні адреса. Однак, для встановлення площини відводу необхідно використовувати адрес R. Формат кадру для свердління виглядає наступним чином:

G98G81X10Y15Z-3R0.5F50 або G99G81X10Y15Z-3R0.5F50

Якщо цикл свердління працює спільно з кодом G98, то інструмент повертається до вихідної площини в кінці кожного циклу і між всіма оброблюваними отворами. Код G98 використовується, коли потрібно збільшити відстань відводу для того, щоб уникнути зіткнення інструменту з деталлю. Коли немає небезпеки зіткнення інструменту з деталлю, то зазвичай використовують код G99, який дозволяє зменшити час при обробці багатьох отворів. В цьому випадку інструмент переміщається між отворами і виводиться вгору в кінці циклу до координати по Z, встановленою R словом даних.

Зазвичай системи ЧПК дозволяють переключатися між G98 і G99 прямо в постійному циклі між оброблюваними отворами:

```
...;  
G99G81X10Y15Z-3R0.5F50;  
X20Y20;  
G98X30Y30;  
X40Y40;  
...;
```

На [рис. 2.14а](#) приведено приклад свердління 7 отворів діаметром 3 мм і глибиною 6.5 мм за допомогою постійних циклів, а також приклад обробки зовнішнього контуру деталі ([рис. 2.14б](#)) фрезою діаметром 5 мм.

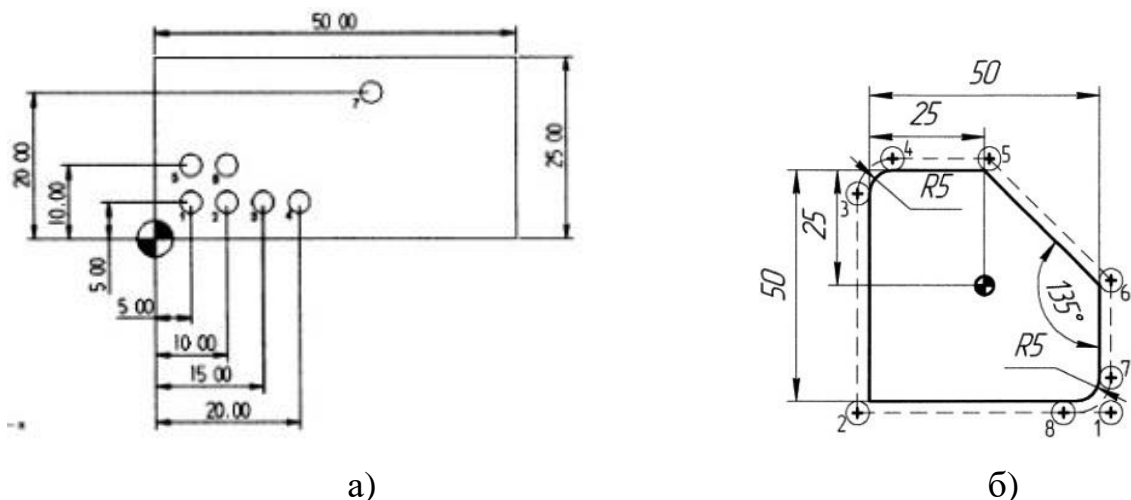


Рис. 2.14 Схема обробки свердління отворів (а) та контурна обробка (б)

При цьому глибина фрезерування складає 4 мм, а підвід до контуру здійснюється по прямолінійній ділянці. Програми для свердління та обробки зовнішнього контуру деталі відповідно приведено в [додатку 2.4](#).

На рис. [2.15а](#) приведено приклад обробки кармана фрезою діаметром 5 мм. При цьому глибина фрезерування складає 2 мм, а підвід до контуру здійснюється по дотичній. Крім того, на [рис. 2.15б](#) приведено приклад для чорнової обробки прямокутного кармана фрезою діаметром 10 мм (глибина фрезерування складає 1 мм). На [рис. 2.15в](#) приведено приклад обробки круглого кармана фрезою діаметром 10 мм (глибина фрезерування – 0.5 мм).

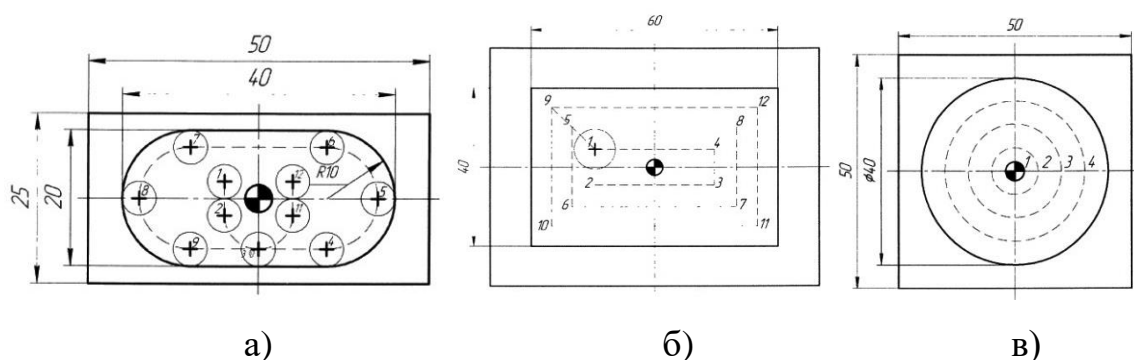


Рис. 2.15 Чистова обробка кармана (а) та чорнова обробка прямокутного кармана (б), чорнове фрезерування круглого кармана

Керуючі програми для чистової обробки кармана та чорнової обробки прямокутного кармана, а також круглого кармана відповідно приведено в [додатку 2.5](#).

2.4. Будова та особливості керування фрезерного верстата з числовим програмним керуванням моделі «DYNAMYTE 2800»

Фрезерні верстати призначені для обробки плоских і фасонних поверхонь заготовок складної форми. Конструкції верстатів з ЧПК подібні до конструкції традиційних фрезерних верстатів, а відрізняються від останніх автоматизацією переміщення за допомогою керуючої програми при формоутворенні.

Фрезерні верстати по розміщенню шпинделя – вертикальні і горизонтальні, по кількості керуючих осей 1...5 (керуючі координати); по типу стола з нерухомим та рухомим столом. Програмно керуючий привід головного руху може мати пристрої для автоматизованого закріплення заготовок, а мініфрезерні верстати пристрої для сканування. Роботи мають три або чотири ступені переміщення і можуть функціонувати автономно або в системі ГВС (гнучка виробнича система) та збірних стендів, а також оснащуватись системами технічного зору.

Фрезерний верстат з ЧПК має наступні вузли (рис. 2.16):

1. Станина. Буває 2-х видів – лита та зварна. Перший вид має переваги із за великої жорсткості і кращої демфірувальної здатності. В той же час зварюванням можливо отримати більш складні конфігурації, що подекуди необхідно.

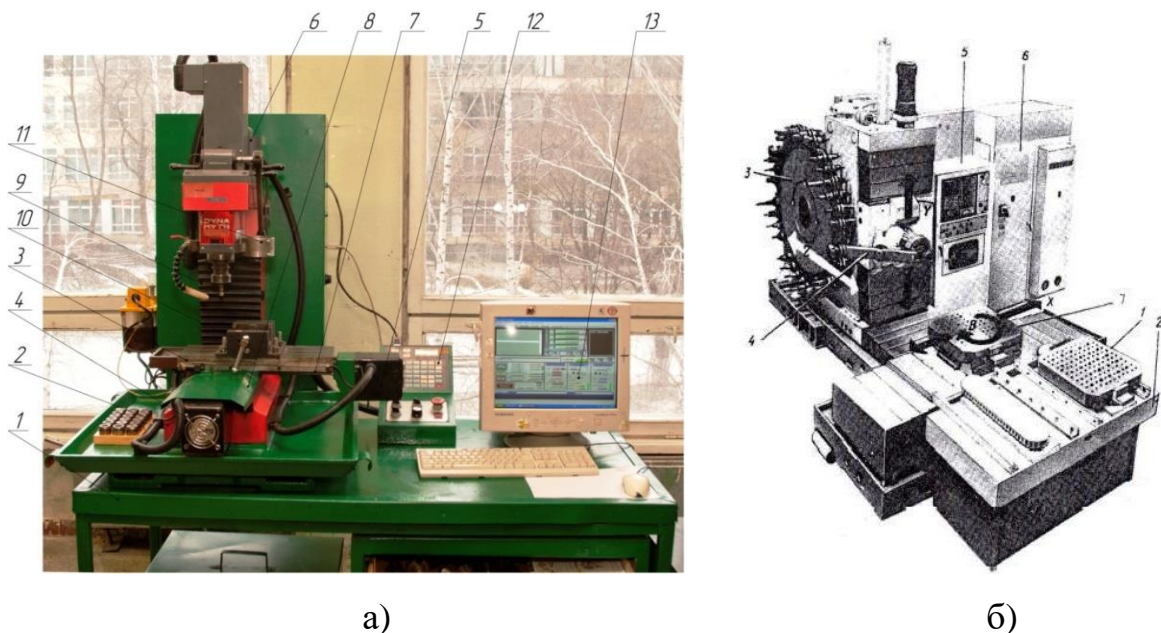


Рис. 2.16 Основні вузли вертикально-фрезерного верстата з ЧПК моделі DYNAMYTE 2800 (а): 1 – стіл; 2 – станина; 3 – робочий стіл; 4,5,6 – крокові електродвигуни; 7,8,9 – полозки для повздовжнього, поперечного і вертикального переміщення; 10 – лещата; 11 – спеціальний пристрій; 12 – пульт керування; 13 – ЕОМ та компоновка ГВС для обробки корпусних деталей: 1 – палета; 2 – двомісний накопичувач палет; 3 – інструментальний магазин; 4 – маніпулятор для установки інструменту в шпиндель; 5 – шафа пристрою ЧПК; 6 – шафа електрообладнання; 7 – робочий стіл

2. Направляючі. Існують лінійні направляючі (рис. 2.17) і направляючі ковзання. Другий вид використовується завжди в універсальному обладнанні. Має велику жорсткість, що обумовлює їх використання на верстатах для чорнової обробки, але даний тип направляючих має тертя ковзання, яке являється причиною низької швидкості переміщення робочих вузлів верстата (до 10 м/хв) і меншу точність інтерполяції. Лінійні направляючі працюють в умовах тертя кочення і забезпечують високі швидкості переміщення (до 100 м/хв) і більш високу точність, чим направляючі ковзання. Недоліком даного типу є низька жорсткість, але їх можна нівелювати, збільшуючи кількість установлених направляючих.

3. Коробка швидкостей з безступінчастим регулюванням частоти обертання шпинделя, що забезпечує головний рух різання. Перший вид – шпиндель приводиться в обертання за допомогою пасової передачі або напрямку через муфту. Шпиндель може мати як підшипники кочення, так і аеродинамічні або гідростатичні підшипники. Другий вид – шпиндель обертається від електродвигуна з регульованим числом обертів. Перша різновидність значно дешевша у виготовленні. Її головним недоліком являється невисока частота обертання (до 15000 об/хв). Для багатьох операцій цей недолік не являється суттєвим, проте при обробці складних поверхонь (штампів або прес-форм) необхідна висока частота обертання. Другий тип шпинделів може розвивати більше 50000 об/хв.



Рис. 2.17 Лінійні направляючі

4. Приводи подач. Високомоментні електродвигуни, обертальний рух ротора яких перетворюється в лінійні переміщення робочих вузлів верстата за допомогою кулько-гвинтових пар (КВГ) (рис. 2.18). Плинне положення визначається або за допомогою кругових датчиків на приводі, або за допомогою лінійних датчиків (лінійок), розміщених повздовж направляючих. Лінійні двигуни – особливий вид двигунів, у яких ротор і статор розміщені повздовж направляючих, а плинне положення визначається тільки за допомогою лінійок. Останні мають значно більш високу точність, за рахунок виключення КВГ – ланцюга, який вносить похибки особливо при змінні напрямку руху. Проте лінійні двигуни ще досить дорогі і складні в виготовленні. Але майбутнє за ними.

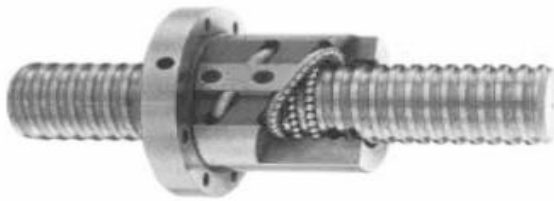


Рис. 2.18 Кулько-гвинтовий механізм Рис. 2.19 Система ЧПК Fanuc

5. Система ЧПК. Існує велика кількість різних систем ЧПК, які мають свої переваги і недоліки. Самими розповсюдженими – це система Fanuc (рис. 2.19) та система Siemens, для високоточних малогабаритних деталей Mach3.

6. Магазин для інструментів. Тип «Зонтик» (рис. 2.20) – інструменти розміщені вертикально. За кожним карманом жорстко закріплено свій номер. Недорогий, але повільний (час зміни 8-15 с). Тип «Рука» (рис. 2.21) – інструменти розміщені горизонтально. Маніпулятор встановлює інструмент в найближчу чарунку. Можливий «попередній вибір», коли магазин обертається одночасно з роботою верстата. Це в декілька разів

зменшує час зміни інструменту (2-5 с). Також існує цілий ряд інших систем зміни інструменту.



Рис. 2.20 Тип «Зонтик»



Рис. 2.21 Тип «Рука»

2.5. Будова і особливості керування токарного верстата з числовим програмним керуванням

Токарні верстати з (ЧПК) призначені для зовнішньої і внутрішньої обробки складних заготовок деталей типу тіл обертання. Токарні верстати складають найзначнішу групу по номенклатурі в парку верстатів з ЧПК. На токарних верстатах з ЧПК виконують традиційний комплекс технологічних операцій: точіння, відрізки, свердління, нарізування різьби та ін.

У дрібносерійному і середньосерійному виробництві з частою зміною виготовлених виробів найбільшого поширення набули автоматизовані верстати з ЧПК. Верстат з ЧПК дозволяє здійснювати взаємне переміщення деталі та інструменту по командам без застосування матеріального аналога оброблюваної деталі (кулачків, шаблонів, копіїв).

Основні переваги верстатів з ЧПК наступні: простота модифікації технологічного процесу шляхом внесення коригувальних програм у пам'ятовуючий мікропристрій ЕОМ; високі режими обробки з використанням максимальних можливостей верстата; виключення попередніх ручних розмічальних і пригонювальних робіт; підвищення продуктивності праці за рахунок скорочення допоміжного і машинного

часу обробки; підвищення точності та ідентичності деталей; скорочення числа переустановлень деталей при обробці та термінів підготовки виробництва.

В основі класифікації токарних верстатів з ЧПК лежать такі ознаки:

- розташування осі шпинделя (горизонтальні і вертикальні верстати);
- число використовуваних в роботі інструментів (одно- та багатоінструментальні верстати);
- способи їх закріплення (на супорті, в револьверній головці, у магазині інструментів);
- вид виконуваних робіт (центрові, патронні, патронно-центрові, карусельні, пруткові верстати);
- ступінь автоматизації (напівавтомати і автомати).

Токарні верстати з ЧПК (рис. 2.22) представляють собою органічне сполучення технологічної машини для розмірної обробки з керуючою обчислювальною машиною.



Рис. 2.22 Токарний верстат з ЧПК моделі ORAC MBC 84:

1 – станина; 2 – передня бабка; 3 – трьохкулачковий патрон; 4 – задня бабка; 5 – полозки повздовжні; 6 – полозки поперечні; 7 – різцетримач; 8 – панель керування; 9 – ЕОМ

Заміна ручного керування виробничими процесами у дрібносерійному та одиничному виробництві може бути здійснена з використанням верстатів ЧПК, робота яких в автоматичному режимі здійснюється від

керуючої системи на основі ЕОМ. Це дає можливість швидко здійснювати переналагодження на виготовлення різноманітними деталей.

Суть системи програмного керування металорізальними верстатами полягає в тому, що механічні системи керування рухомими вузлами верстата замінюють електромеханічними.

Керують цими системами дистанційно за допомогою команд у вигляді електричних сигналів. За конструкцією системи керування верстати з програмним керуванням поділяють на верстати з цикловим (ЦПК) та числовим (ЧПК) програмним керуванням.

Конструкції верстатів з ЧПК і їх різновиди визначають видом виробництва, типом оброблюваних деталей, точністю виготовлення. Токарні верстати з ЧПК призначені для обробки зовнішніх і внутрішніх поверхонь заготовок типу тіл обертання. Токарний верстат з ЧПК має такі вузли і механізми (рис. 2.22): станина 1, передня бабка 2, де розміщена коробка швидкостей з безступінчастим регулюванням частоти обертання шпинделя. На кінці шпинделя встановлюється пристрої для закріплення заготовок; задня бабка 4 – для підтримання другого кінця заготовки, якщо вона довга, а також для встановлення інструментів – свердла, зенкера, розвертки для обробки отворів; супорт (різцетримач) 7 для закріплення різців і надання їм поперечної подачі (вісь x) від окремого джерела енергії; ходовий гвинт – для надання ріжучим інструментом – різцям повздовжньої подачі (вісь z); система змащування, електроні пристрої для керування. Керування верстата здійснюється від ЕОМ 9, або від електронного пристрою розміщеного у верстаті.

На верстатах з ЧПК виконують традиційний комплекс операцій: точіння, відрізування, свердлування, нарізання різьби за допомогою різьбових різців та інш.

Ознаки згідно яких здійснюється класифікація токарних верстатів з ЧПК:

- розміщення вісі шпинделя (горизонтальні і вертикальні);
- число інструментів, що використовуються в роботі (одно – і багато інструментульні верстати);
- способи їх закріплення (на супорті, в револьверній головці, в магазині інструментів);
- вид виконуваних робіт (центрові, патронні, патронно – центрові, карусельні, пруткові верстати);
- ступень автоматизації (напівавтомати, автомати).

Центрові верстати з ЧПК – для обробки деталей типу валів з прямолінійними і криволінійними контурами, а також для нарізання різьби різцем по програмі. Патронні – для обточування, свердлування, розвертування, зенкерування, цекування, нарізання різьби мітчиками у отворах деталей типу фланець, зубчастих коліс, кришок. Можливе нарізання різцем внутрішньої і зовнішньої різьби різцем по програмі. Патронно-центрові верстати з ЧПК – для зовнішньої і внутрішньої обробки різних складних деталей типу тіл обертання і мають технологічні можливості токарних центрових і патронних верстатів. Карусельні – для обробки заготовок складних корпусів.

Токарні верстати з ЧПК мають револьверні головки або магазини інструментів. Револьверні головки бувають 4-х, 6-ти і 12-ти - позиційні, причому на кожній позиції можна встановлювати по 2 інструменти для зовнішньої і внутрішньої обробки. Вісь обертання головки може розміщуватися паралельно вісі шпинделя, перпендикулярно до неї або під кутом.

При установці та верстаті 2-х револьверних головок – в одній із них закріплюють інструменти для зовнішньої обробки, а в другій – для внутрішньої обробки. Такі головки можуть розміщуватися співвісно одна

відносно іншої, або мати різне розміщення осей. Для індексування використовуються плоско зубчасті торцеві муфти, які забезпечують високу точність і жорсткість. В пази револьверних головок встановлюють взаємозамінні інструментальні блоки, які налагоджують на розмір поза верстатом. Подача МОР в зону різання здійснюється через канал в корпусі різьбових блоків. Для токарної обробки однієї заготовки необхідно не більше 10 інструментів. Для важко оброблювальних матеріалів інструменти мають малу стійкість, використовують не менше 10 інструментів.

За кількістю потоків інформації системи ЧПК поділяють на розімкнуті, замкнуті і самонастроювальні (адаптивні). В розімкнених системах один потік інформації від програми до робочого органа, переміщення якого не контролюється, тобто немає зворотного зв'язку. У замкнених системах крім інформації від програми керування є ще потік інформації від пристроїв зворотного зв'язку, що забезпечує вищу точність обробки.

Одним із основних вузлів, які визначають продуктивність і точність верстатів є приводи подач, які поділяються на крокові та слідкуючі. Найпростішим варіантом привода в розімкнутих системах з ЧПК є кроковий привід. Особливість електродвигуна цього привода полягає в тому, що якщо на обмотку його статора попадає один імпульс електричного струму, то якір повернеться на невеликий кут визначеної величини. У такому приводі імпульси програми подаються на вхід електронного комутатора. Кількість імпульсів підведених до привода, визначає величину переміщення, а їх частота швидкість руху. У верстатах з ЧПК привід приводить у рух робочі органи верстата через передачу гвинт-гайка кочення, пасова передача гвинт-гайка кочення. У цих передачах профіль ходового гвинта і гайки напівкруглий, кілька витків канавок гвинта і гайки щільно заповнені кульками. В процесі роботи такої

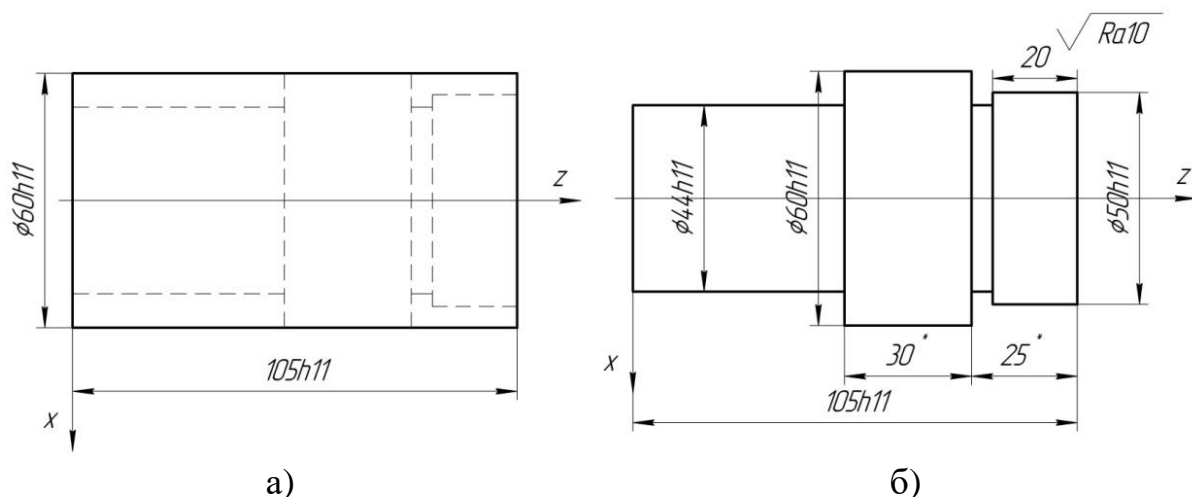
пари здійснюється тертя кочення, а не ковзання, як у звичайних гвинтових парах.

Таким чином, конструктивними особливостями верстатів з ЧПК є:

- мають розширені технологічні можливості при збереженні високої надійності в роботі.
- висока точність обробки досягається за рахунок більш високої точності виготовлення і жорсткості порівняно з звичайною.
- підвищенню точності сприяє вилучення зазорів в передаточних механізмах приводів, зниження тертя в направляючих та теплових деформацій верстата.
- цифрові приводи представляють собою електродвигуни, які працюють на постійному або змінному струмі. Конструктивно перетворювачі частоти, сервоприводи і пристрої головного пуску і реверса являється окремими електронними блоками керування.
- шпинделі верстатів з ЧПК виготовляють точними, жорсткими з підвищеною зносостійкістю шийок, посадочних і базових поверхонь. Конструкція шпинделя ускладнюється із – за вбудованих в нього пристроїв автоматичного розтиснення і затиснення інструменту, датчиків.
- розширенню технологічних можливостей токарних верстатів можливе при стиранні відмінностей між токарними і фрезерними верстатами, добавці відцентрового свердління, та фрезерування контуру з рахунок програмованого повороту шпинделя, а в деяких випадках можливе різьба нарізання не співвісних елементів заготовок.

На [рис. 2.23](#) приведено приклад обробки деталі на токарному верстаті з ЧПК за допомогою системи Mach3.

Координати опорних точок, керуюча програма та траєкторії переміщення інструменту відповідно приведено в [додатку 2.7](#).



а) б)
Рис. 2.23 Ескіз заготовки (а) та деталі (б)

2.6 Інструменти та пристрої для фрезерних та токарних верстатів з числовим програмним керуванням

2.6.1 Різальні інструменти для фрезерної обробки

В цей час на світовому ринку працює велика кількість фірм, які виготовляють ріжучий інструмент. Лідерами являються: концерн Sandvik (до складу якого крім даної фірми, входять Walter, SEKO, Titex, Prototyp, Dornier та інш.); Kannametal, ISCAR, Mitsubishi.

Всю гаму ріжучого інструменту можна розділити на дві великі групи: інструмент із змінними пластинами (або вставками) і монолітний інструмент. В більшості випадків рекомендується використовувати інструмент з пластинами. Це є більш економічно ефективно. Крім цього, замінивши пластини, оператор завжди може бути упевнений в стабільності умов обробки, тобто немає потреби змінювати режими різання, а в деяких випадках регулювати інструмент.

На фрезерних верстатах обробляють горизонтальні, вертикальні і похилі площини, фасонні поверхні, фрезерують пази, шпонкові канавки, зубці прямозубих та гвинтових циліндричних зубчастих коліс, а також нарізають різьбу.

Горизонтальні площини обробляють циліндричними фрезами на горизонтально-фрезерних верстатах або торцевими фрезами на вертикально-фрезерних і поздовжньо-фрезерних верстатах (рис. 2.24а,б).

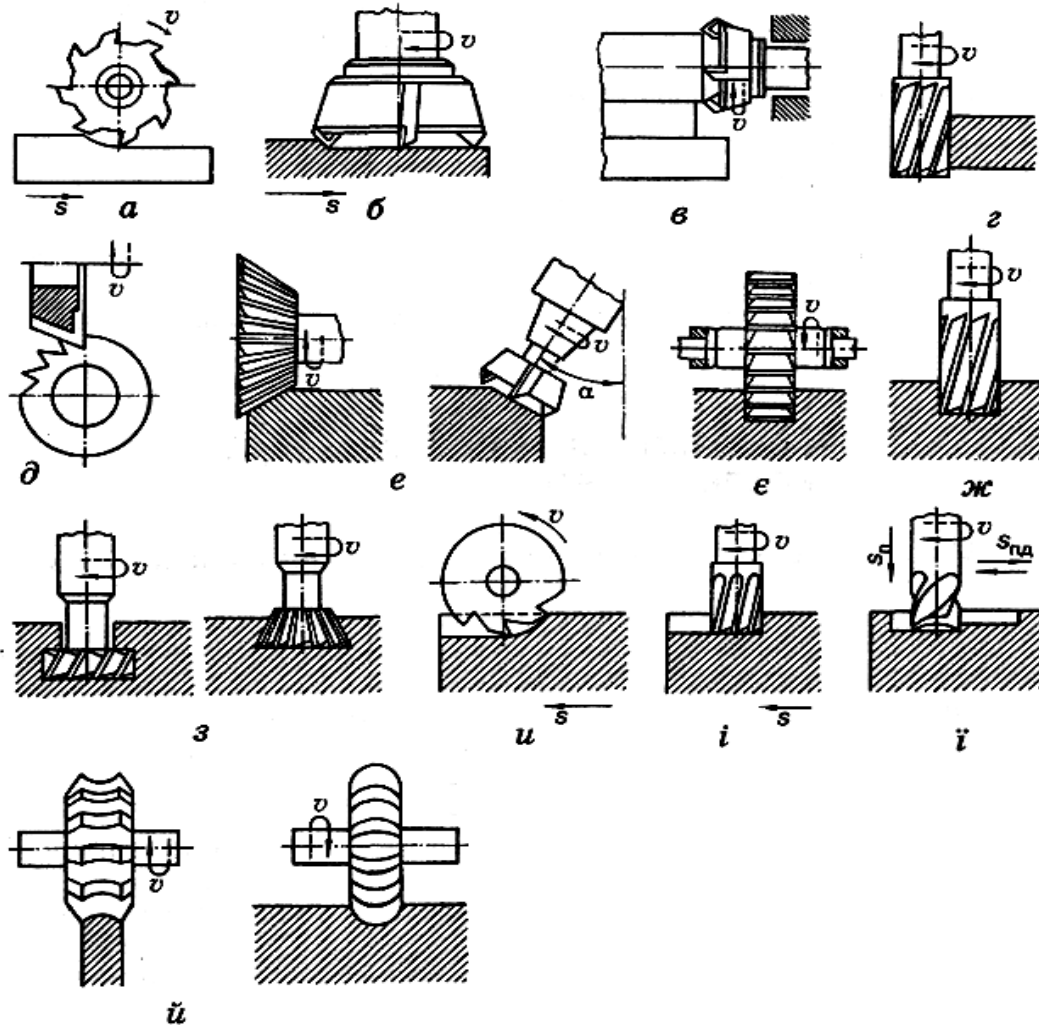


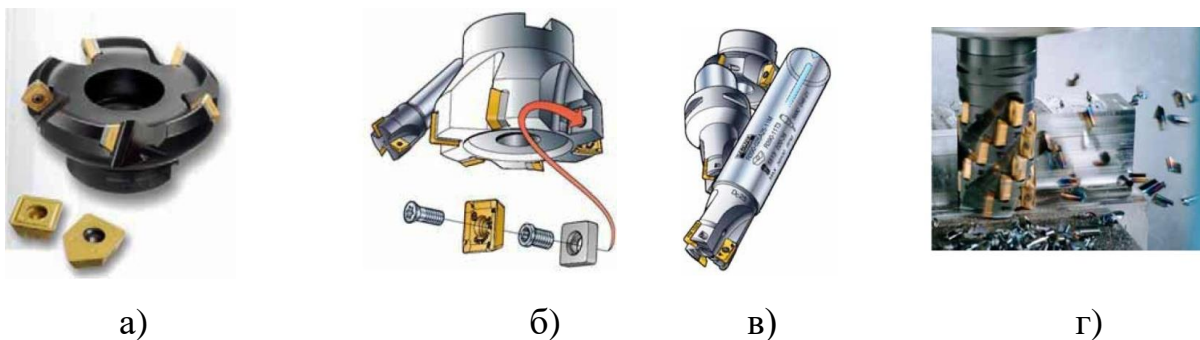
Рис. 2.24 Типи фрез (а,и – циліндрична; б,в – торцева; г,ж – кінцева; д,е – кутова; ж – дискова; з – Т-подібні; і,ї – шпонкові; й – фасонні) та схеми фрезерування

Найбільш продуктивною є обробка площин торцевими фрезами, оснащеними пластинками з твердих сплавів.

Вертикальні площини обробляють на горизонтально-фрезерних верстатах торцевими або дисковими фрезами, на поздовжньо-фрезерних – торцевими і на вертикально-фрезерних – кінцевими фрезами (рис. 2.24в,г). Похилі площини обробляють на горизонтально-фрезерних верстатах

кутовими фрезами (рис. 2.24д,е) або на вертикально-фрезерних верстатах з поворотною головкою – торцевими. Прямокутні пази фрезерують дисковими фрезами на горизонтально-фрезерних верстатах або кінцевими фрезами на вертикально-фрезерних верстатах (рис. 2.24ж,є). Пази Т-подібні і типу ластівчиного хвоста фрезерують на вертикально-фрезерних верстатах фрезами відповідного профілю (рис. 2.24з). Шпонкові канавки обробляють на вертикально-фрезерних верстатах кінцевими (рис. 2.24і) або спеціальними шпонковими фрезами (рис. 2.24ї). Фасонні поверхні обробляють фасонними фрезами відповідного профілю найчастіше на горизонтально-фрезерних верстатах (рис. 2.24й), а складні просторові фасонні поверхні – на спеціальних копіювально-фрезерних верстатах.

Для обробки плоских поверхонь і уступів Sandvik випускає цілий ряд фрез з різними формами пластин та кутами в плані. Наприклад, фрези CoroMill 245 (рис. 2.25а) і CoroMill 290 (рис. 2.25б) – кут в плані 45° і 90° , які призначені для зняття великого об'єму матеріалу по площині, для обробки фасок. Забезпечують високу чистоту поверхні.



а) б) в) г)
Рис. 2.25 Фрези CoroMill 245 (а); CoroMill 290 (б); CoroMill 390 (в) та двокромочні (г)

Моделі CoroMill 245 (рис. 2.25в) є універсальними фрезами. Пластини цієї фрези мають спіральну ріжучу кромку, що сприяє більш плавному різанню. Вона призначена для обробки плоских поверхонь, уступів, гвинтової інтерполяції. Існують типи виконання цих фрез (рис. 2.25г),

тобто інструменти з декількома рядами пластин по довжині. Вони використовуються для обробки глибоких уступів і стінок деталі за один прохід.

Для обробки складних поверхонь штампів і прес-форм призначена гама фрез з круглими пластинами, зокрема CoroMill200 (рис. 2.26а) – фреза для чорнової обробки, а CoroMill300 – фрези невеликого діаметра для напівчистої обробки. CoroMillR216 і CoroMillR216F (рис. 2.26б) – сферичні фрези для напівчистої та чистої обробки. Остання може оброблювати загартовані сталі з твердістю до HRC63.

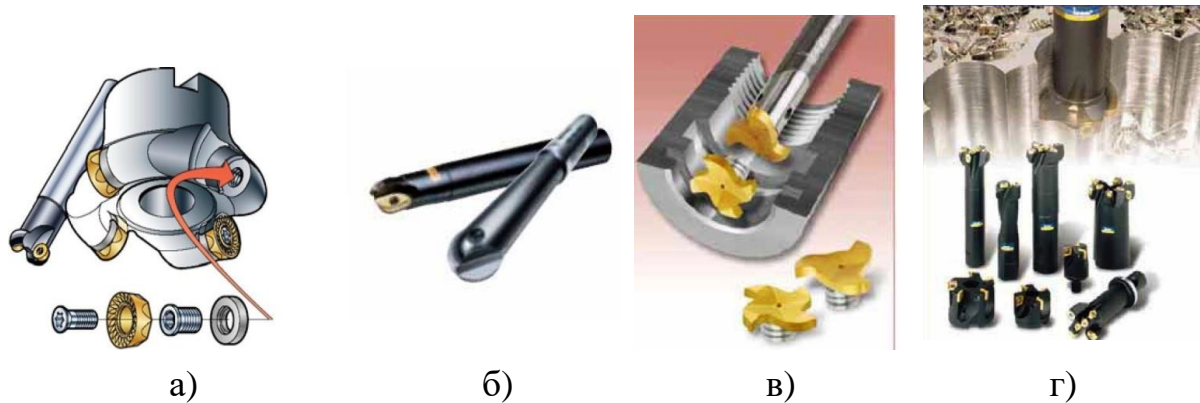


Рис. 2.26 Фрези CoroMill200 (а); CoroMillR216 і CoroMillR216F (б); закріплення інструментів невеликих діаметрів (в); плунжерні фрези (г)

Інструмент невеликих діаметрів, який не можливо оснастити пластинами із конструктивних можливостей виконуються з змінними вставками, які закріплені або на різьбі або за допомогою сил пружності (рис. 2.26в).

Найбільш ефективним для зняття великого об'єму матеріалу можна досягти, використовуючи «плунжерні» фрези (рис. 2.26г). Ці фрези працюють з осьовою силою, а не радіальною подачею. За рахунок цього вони менш піддаються вібраціям і можна більш повно використовувати всі можливості верстата на великих подачах.

У модульному інструменті в одному і тому ж корпусі можна закріпити вставки різної форми від сферичної і кінцевої, до дискової і

грибкової. Це дозволяє зекономити на інструменті, отримати більшу універсальність. Основним недоліком такого інструменту є зниження жорсткості, яка негативно впливає на процес різання.

Тіла обертання і складні циліндричні поверхні типу кулачків можна виконати, як на токарно-фрезерних обробляючих центрах, так і на фрезерних верстатах з 4-ю віссю. Інструментом можуть бути торцеві (рис. 2.27а), кінцеві (рис. 2.27б,в) і дискові фрези (рис. 2.27г).

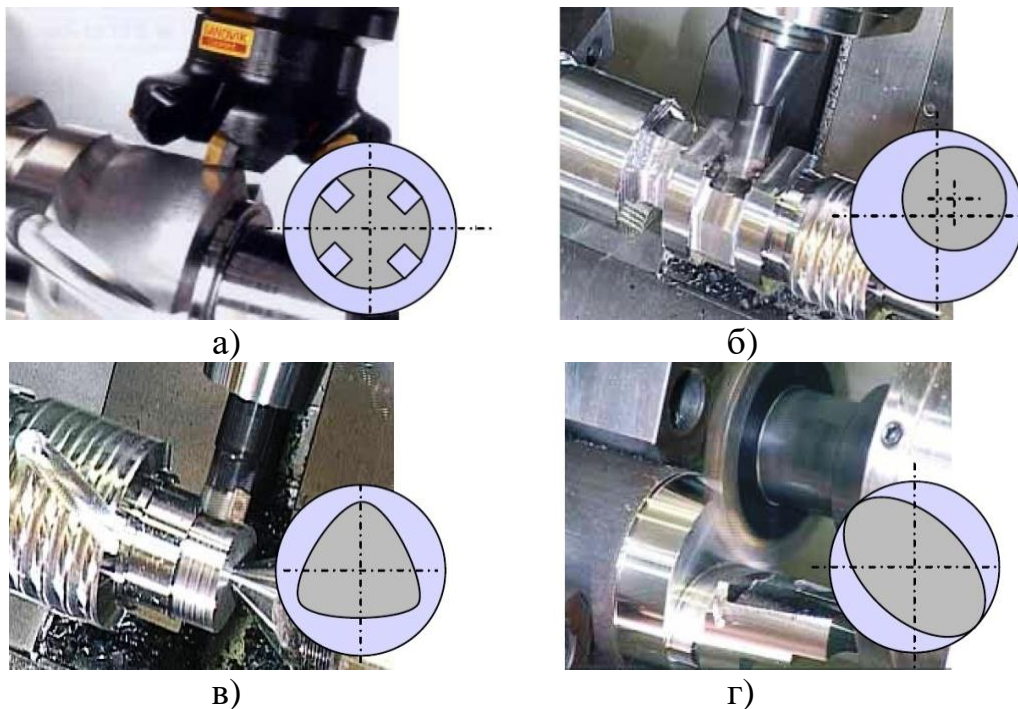


Рис. 2.27 Фрези торцеві (а); кінцеві (б,в) та дискові (д)

Фірма Sandvik Coromant запропонувала нові ріжучі пластини wiper для фрези CoroMill365, яка забезпечила надійну роботу фрез з 8-а ефективними різальними лезами, які встановлюються за допомогою гвинта та клинового затиснення (діаметри фрез від 45 до 250 мм) для торцевого фрезерування деталей із чавуну і сталей. Продуктивність підвищується до 67%, а стійкість до 100%.

При фрезеруванні використовують:

- 1) Кераміку на основі оксиду алюмінію;
- 2) Кераміку на основі нітриду кремнію.

Кераміка на основі Al_2O_3 використовується двох груп: білий – чистий оксид алюмінію і з добавками карбіду кремнію – SiC і карбіду – титану TiC – для підвищення міцності.

Ріжучі пластини з кераміки на основі Al_2O_3 використовують для напівчистої і чистової обробки загартованих сталей і сірого чавуну. Кераміка на основі SiN (нітриду кремнію) з добавками оксиду використовується для напівчистої і чорнової обробки жароміцних сплавів, а також високоміцних чавунів.

Пластини із кераміки рекомендуються для використання при чистовому точінні на великих швидкостях різання. Для підвищення міцності рекомендується використовувати ріжуче лезо виготовляти із захисною фаскою шириною 0.15...0.2 мм і кутом нахилу 8...30° а захисним радіусом 0.05...0.15 мм.

Пластини із кераміки доцільно використовувати при виготовленні деталей невеликої партії. Для крупносерійного і масового виробництва доцільно використовувати пластини із BN – кубічного нітриду бору, але вони в 6 разів дорожчі, ніж пластини із кераміки. А пластини із нітриду кремнію мають високу теплопровідність, а тому їх використовують при переривистому різанні з МОР.

2.6.2 Пристрої для фрезерної обробки

Основними елементами будь-якої фрезерної оправки являється: конус, кільця, закріплююча частина (рис. 2.28).

Основні типи конусів – 7:24, конус Морзе, HSK. Частіше використовується перший варіант. У верстатах оснащених високими швидкісними шпинделями (більше 15000 об/хв), частіше використовується останній тип – HSK.

Кільця необхідні для захвату інструменту маніпулятором магазину. На рівних існує багато стандартів (MAS 403 BT, DIN 69871-1).

Закріплююча частина призначена для закріплення інструменту та може мати сотні різних форм.

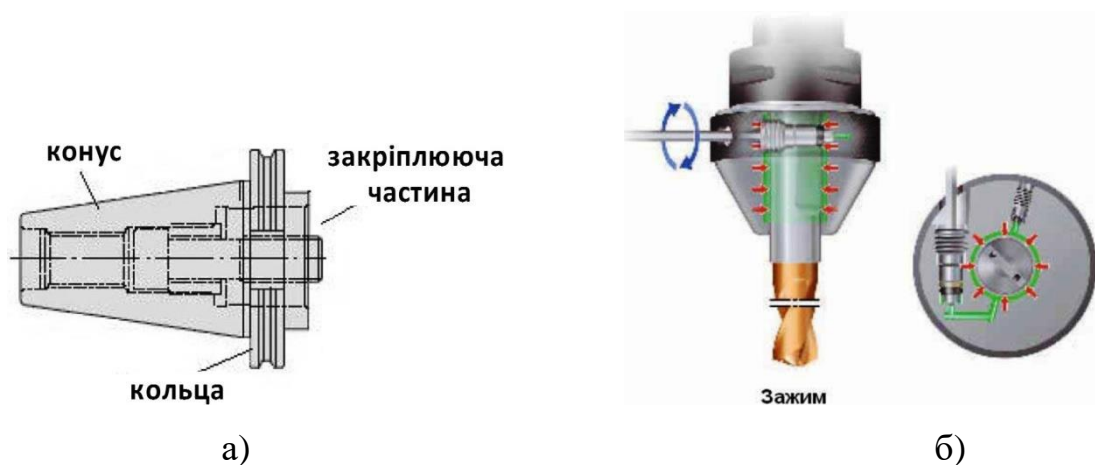


Рис. 2.28 Фрезерна оправка (а) та оправка з гідропластом (б)

Для закріплення кінцевого інструменту невеликого діаметра (до 200 мм) широко використовуються цангові патрони (рис. 2.29а), які забезпечують достатню шорсткість закріплення для легких та середніх операцій. Биття установленного інструменту залежить в основному від точності цанги і складає 0.02...0.005 мм. Більш частіше зустрічаються цанги типу ER, які мають 2 конуса (рис. 2.29б).

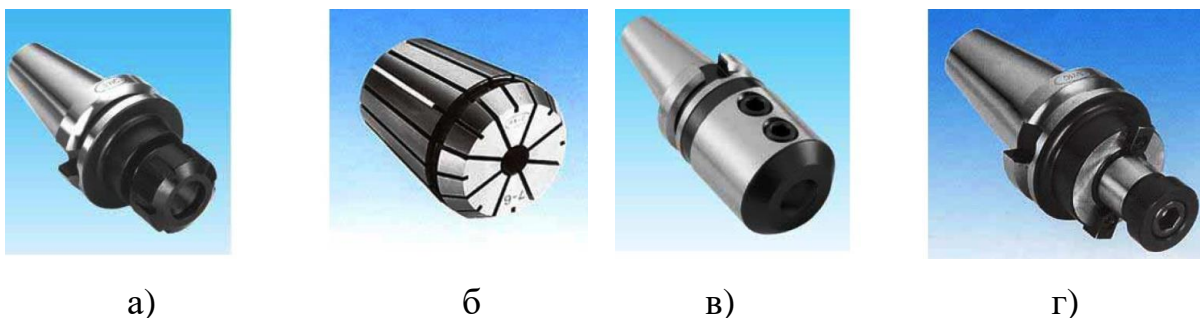


Рис. 2.29 Цанговий патрон (а), цанга типу ER (б) та цангові патрони з двома шпонками (в,г)

Інструменти з діаметром більше 20 мм або інструменти, які працюють на великих режимах різання, рекомендується використовувати з двома шпонками (рис. 2.29в,г).

При роботі із значними частотами обертання шпинделя (більше 10000 об/хв), одним із основних вимог до оправки являється високі і

стабільні зусилля закріплення і мінімальне биття інструменту. Цим вимогам відповідають закріплення гідропластом, гідромеханічним затискувачем (рис. 2.30а) і термічним затискувачем. В оправках першого типу тиск створює малостискувана речовина- гідропласт при загвинчуванні гвинта в корпус.

Принцип роботи гідромеханічних оправок подібний з попереднім, тільки тиск створюється не гвинтом, а спеціальним насосом (рис. 2.30б). При цьому рідина, яка знаходиться в корпусі, діє на клиновий механізм, затискуючи інструмент.

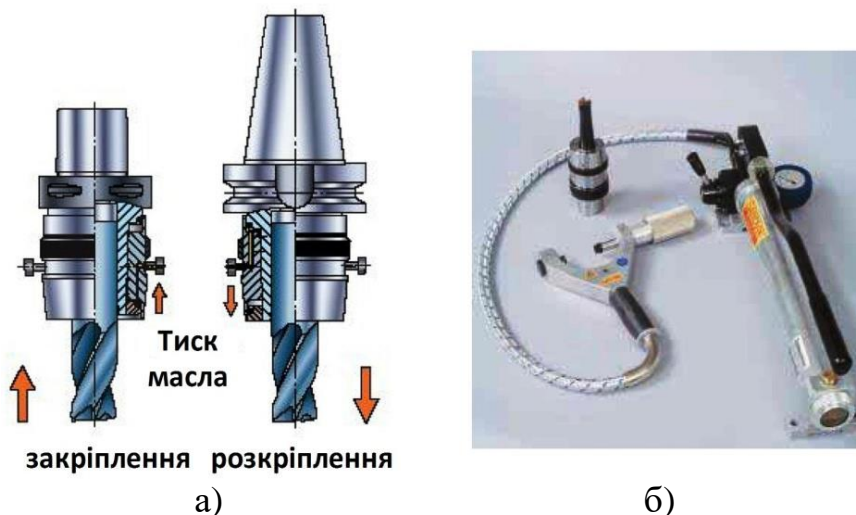


Рис. 2.30 Оправка з гідромеханічним затискувачем (а) та гідромеханічним затискувачем із спеціальним насосом (б)

Останній тип оправок засновано на властивості металів розширюватись при нагріванні. Корпус розміщують в спеціальному пристрої індукційного нагріву, і в нього розміщується інструмент. Після охолодження посадочний діаметр зменшується і інструмент закріплюється силами пружності. В ці оправки можна вставляти тільки твердосплавний інструмент, тому що його коефіцієнт теплового розширення нижчий, чим у сталі.

У вертикальному обробляючому центрі VDL-1000 з отвором конуса шпинделя №40 (7:24) в оправку інструменту загвинчується хвостовик

інструмент ВТ40-45^с, який використовується для затиснення інструменту за допомогою тарілчастих пружин. Інструмент може бути розжатым пневмо-гідравлічним циліндром. Під час зміни інструменту відбувається обдування конуса шпинделя сухим повітрям для очистки. Шпиндель приводиться в дію за допомогою паса з високим обертальним моментом, тому не відбувається проковзування, зменшується інерційність і рівень шуму.

Сучасний приводний інструмент для фрезерних верстатів (рис. 2.31) значно розширює можливості обладнання. Приводний інструмент включає: осьові, кутові і поворотні регулюючі головки, багатошпиндельні головки, а також прискорювальні головки.

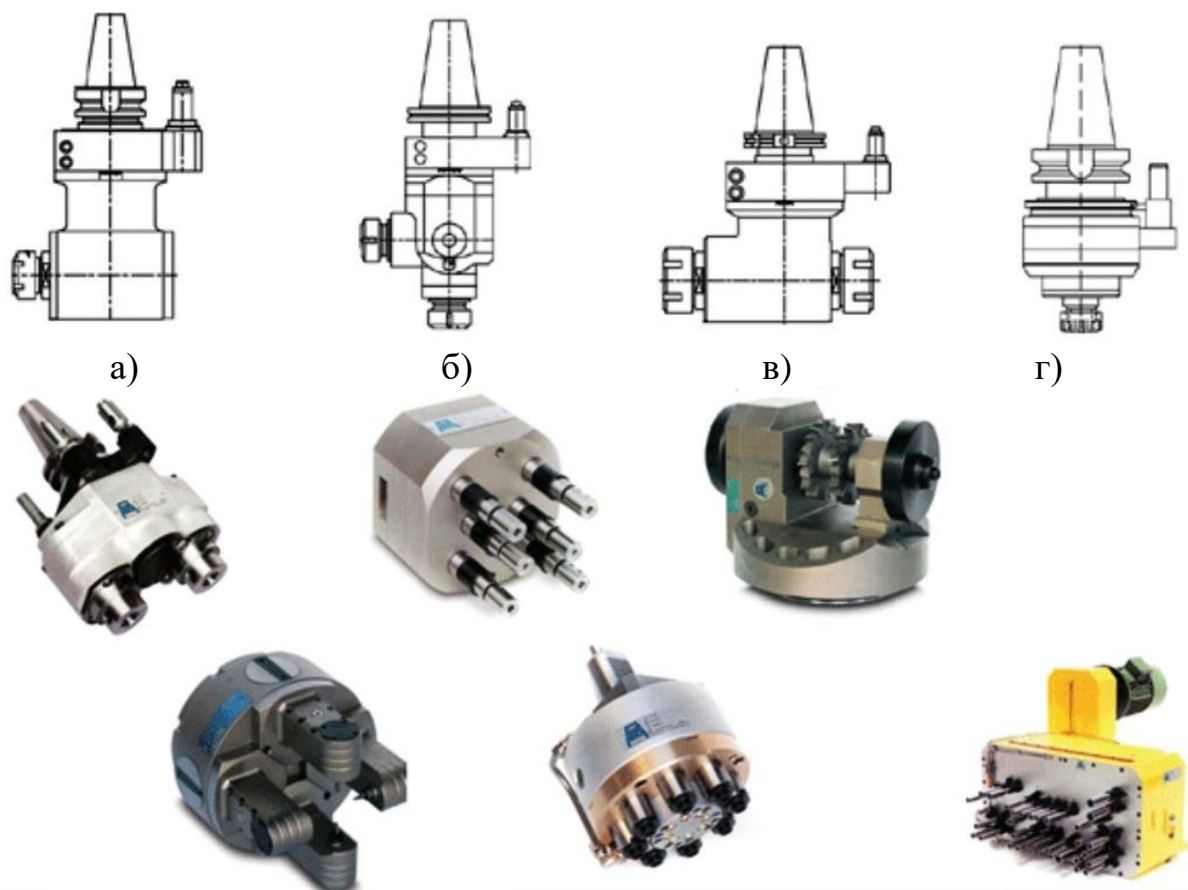


Рис. 2.31 Приводний інструмент для верстатів фрезерної групи з ЧПК: центральний цанговий держак (а); поворотний цанговий держак (б); радіальний цанговий мультіплікаторний держак (в); прискорювальна головка (г); загальний вигляд

2.6.3 Різальні інструменти для токарної обробки

Використання токарних верстатів з ЧПК дозволяють:

- скорочення основного та допоміжного часу за рахунок широко застосування комбінованих ріжучих інструментів;
- здійснення складних траєкторій переміщення простих інструментів;
- обробку елементарних поверхонь декількома ріжучими елементами;
- широке використання заготовок, які отримані методами точного лиття та обробки тиском.

Оснoву вибору номенклатури інструменту складають правила обробки поверхонь заготовок (послідовність переходів, траєкторії переміщення інструменту, режимів та інш.). Номенклатуру ріжучого інструменту визначають на основі аналізу форм, розмірів, необхідної точності та шорсткості поверхонь деталей з урахуванням виду вибраної обробки. Величезна кількість робіт, виконуваних на верстатах токарної групи, обумовлює різноманітність типів токарних різців (рис. 2.32).



Рис. 2.32 Загальний вигляд токарних різців

Будь-який різець складається з ріжучої частини і стрижня, за який здійснюється його закріплення у верстаті. Залежно від форми головки

різця, її положення щодо стрижня і розташування головної ріжучої крайки, різці підрозділяються на праві і ліві, прямі, відігнуті і різці з відігнутою головкою (рис. 2.33).

Залежно від необхідної шорсткості обробленої поверхні застосовують чорнові і чистові різці. Чистові різці можуть мати великий радіус закруглення вершини різця, чистову ріжучу крайку або широке ріжуче лезо.

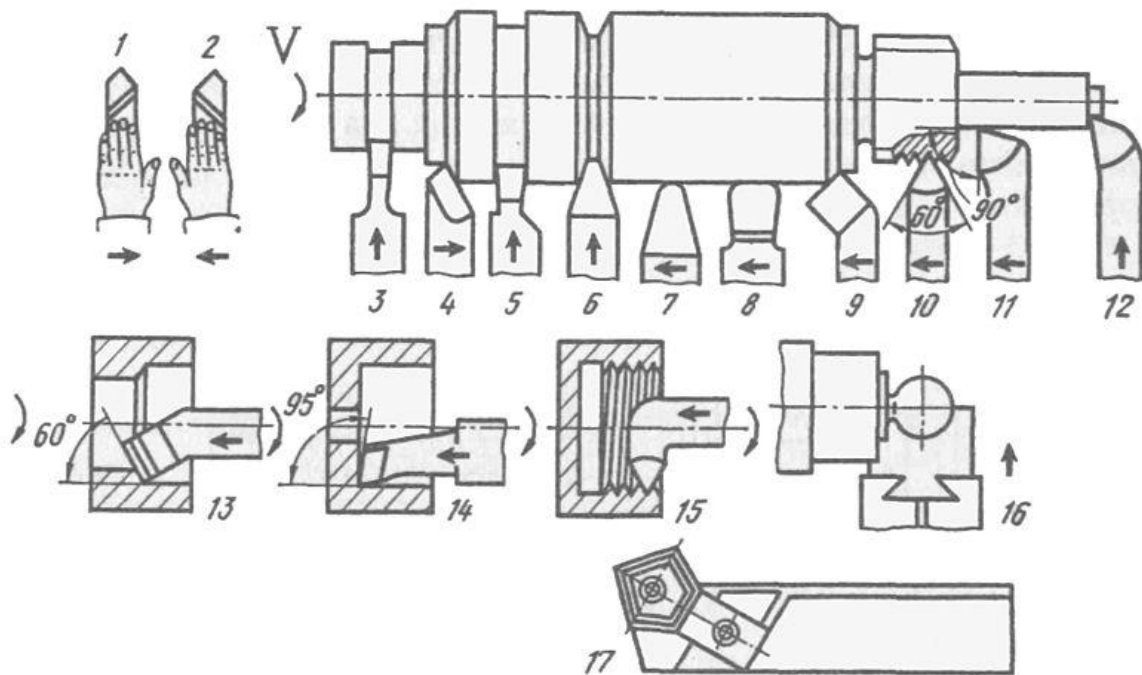


Рис. 2.33 Типи токарних різців для різних технологічних операцій: 1 і 2 – відповідно ліві і праві різці; 4, 6, 7 – прямі різці; 9, 13 – відігнуті; 3, 5 – відрізні; 4, 7, 8, 9 – прохідні; 11 – прохідний упорний; 12 – підрізний; 13, 14 – розточувальний 16 – фасонний; 10, 15 – для нарізання різьби, зовнішньої і внутрішньої відповідно

Різці оснащені пластинами із твердих сплавів конструктивно виконуються по-різному: із пластинами, які напаяні на державку; з механічним кріпленням пластинок, з механічним кріпленням ріжучих вставок з напаяними пластинками і т. д.

Велике поширення одержали різці з багатограними непереточувальними пластинами. Після затуплення чергової крайки

пластина повертається наступною гранню, а після затуплення всіх крайок повертається в переточку.

Також в якості інструментів для обробки на верстатах токарної групи використовують осьовий різальний інструмент – свердла, зенкери, розгортки, якими проводять обробку внутрішніх циліндричних поверхонь та отворів.

На токарних верстатах застосовують різноманітний різальний інструмент. Кожен різальний інструмент працює в важких умовах, тому до матеріалу інструменту пред'являються особливі вимоги:

- висока твердість, якщо твердість інструменту нижче твердості заготовки, то він буде м'яти, а не різати. Твердість інструменту HRC 60...65, а заготовки HRC 15...20. Меншу твердість мають свердла, зенкера і мітчики.
- висока зносостійкість, тому що інструмент зазнає велике тертя і піддається зношуванню.
- висока теплостійкість, тобто здатність зберігати ріжучі властивості при високій температурі. Твердість вуглецевої інструментальної і швидкорізальної сталі приблизно однакова, але теплостійкість вуглецевої сталі 200 °C, швидкорізальної 600 °C.
- висока механічна міцність, тому що інструмент при роботі сприймає значні сили різання. Матеріал інструменту повинен добре працювати на вигин і стиск. Крім цього матеріал інструменту повинен мати гарну теплопровідність і жаростійкість, добре шліфуватися.

Для виготовлення інструментів використовують такі матеріали: вуглецеві інструментальні і леговані інструментальні сталі; швидкорізальні сталі; тверді сплави; мінералокераміку; надтверді матеріали та алмази.

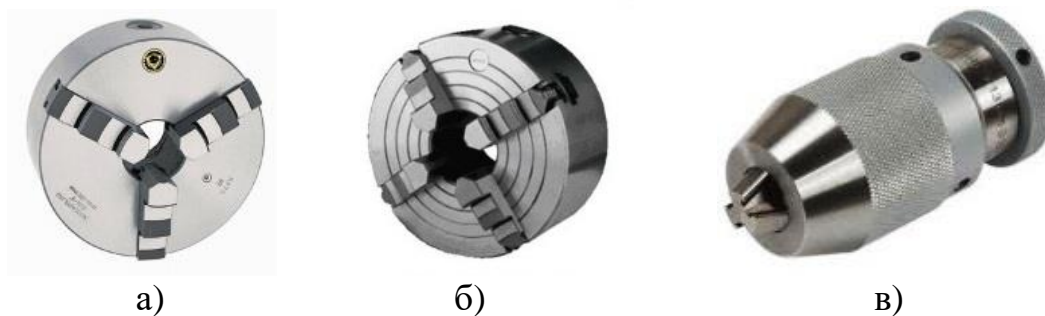
2.6.4 Пристрої для токарної обробки

Пристрої для токарних верстатів за призначенням можна поділити на три групи:

- пристрої для закріплення оброблюваних заготовок;
- допоміжний інструмент для закріплення різального інструменту;
- пристрої, що розширюють технологічні можливості верстатів, тобто, дозволяють робити не властиві цим верстатам роботи (фрезкування, одночасне свердління декількох отворів і т. д.).

Пристрої та різальний інструмент становлять технологічне оснащення верстата. За ступенем спеціалізації пристрої поділяються на універсальні, спеціалізовані і спеціальні.

Універсальні пристрої застосовують для закріплення заготовок, розміри яких значною мірою відрізняються між собою (наприклад, універсальний трикулачковий патрон ([рис. 3.34а](#))).



а) б) в)
Рис. 3.34 Патрони 3-х кулачкові (а), 4-х кулачкові (б) та свердлильні патрони (в)

Спеціалізовані пристрої (цангові і мембранні патрони, оправки та ін.) застосовуються при обробці групи деталей, подібних за розмірами, конфігурацією і технологією виготовлення. Спеціальні пристрої застосовуються при обробці певних деталей або при виконанні певної операції. Універсальні пристрої використовуються в одиничному та малосерійному виробництві, а спеціалізовані і спеціальні – у великосерійному та масовому виробництві.

Для закріплення заготовок на токарних верстатах і надання їм обертального руху використовують: 3-х кулачкові, 4-х кулачкові, свердлильні патрони (рис. 2.34б,в), планшайби, поводкові і цангові патрони.

Центри – для установки довгих заготовок. В торцях заготовки попередньо свердлять центрові заглиблення. Типи центрів: звичайні – використовують при обробці зовнішніх заготовок; для підрізки торців заготовок; кулькові – для обробки конічних поверхонь методом зміцнення задньої бабки; зворотні – для обробки заготовок малого діаметру.

Люнети – допоміжні опори для зменшення прогину і вібрацій при обробці. Довгими рахують заготовки, у яких $l > d > 12$ раз. Рухомі лунети закріплюють до супорта верстата. Нерухомі лунети закріплюють до станини.

Сучасний приводний інструмент для токарних верстатів (рис. 2.35) значно розширює можливості обладнання. Приводний інструмент включає: осьові, кутові і поворотні регулювальні головки, багатошпиндельні головки, прискорювальні головки.



Рис. 2.35 Приводний інструмент для верстатів токарної групи з ЧПК

2.7 Основні запитання

1. Які складові стандартної системи керування обладнанням з ЧПК?
2. Які основні етапи підготовки керуючої програми?
3. Які складові кадру керуючої програми?
4. Які необхідні параметри для програмування кола?
5. Які особливості координат початкової і кінцевої точок якщо вони співпадають?
6. Які вказати координати центра інструменту в спрощеному вигляді?
7. Які адреси використовуються для визначення координат оброблюваних отворів?
8. Які вузли фрезерного верстата з ЧПК?
9. Назвіть основні типи фрез?
10. Назвіть основні типи різців?
11. Які типи магазинів використовуються на верстатах з ЧПК?
12. Які складові структурної схеми системи ЧПК?
13. Які основні вузли токарного верстата з ЧПК?
14. Що таке стандартизований блок обробки при розробці керуючої програми?
15. Як обмежити рухи по осям X і Z на токарному верстаті з ЧПК?
16. Які основні типи різців та їх призначення, які використовуються на токарних верстатах з ЧПК?
17. Які основні види пристроїв, які використовуються на токарних верстатах з ЧПК?
18. Які основні типи інструментів використовують на фрезерних верстатах з ЧПК?
19. Які основні види пристроїв використовують на фрезерних верстатах з ЧПК?
20. Які металокерамічні та керамічні матеріали використовують для фрез?

РОЗДІЛ 3 МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

3.1. Основні відомості про електрофізичні та електрохімічні методи обробки металевих деталей

До фізико-технічних та електрофізичних методів обробки матеріалів відносять методи, які забезпечують формоутворення та зміцнення поверхонь деталей машин концентрованими потоками енергії:

- лазерна обробка;
- електронно-променева обробка;
- плазмова обробка і детонаційне напилення;
- вакуумна іонно-плазмова обробка.

До електрофізичних методів відносяться:

- електроконтактна обробка;
- електроімпульсна обробка;
- обробка короткою дугою.

До поверхневої оздоблювально-зміцнювальної обробки:

- статичні (обробка кулькою, роликом та ін.);
- динамічні (ультразвуком, відцентрова, вібраційна та ін.).

За механізмом зміцнення матеріалу в усіх фізико-термічних процесах обробки в основі лежить вплив теплового потоку на матеріали, тобто при обробці використовуються теплові ефекти, які створюють у зоні обробки високі густини теплової потужності. Основною їх відмінністю є форма підводу та вид енергії, яка перетворюється в зоні обробки на технологічно необхідну теплову енергію.

Крім того, термічні методи поверхневого зміцнення та відновлення можна представити у вигляді трьох груп: до першої групи відносяться методи, основою яких є перенесення енергії від променевого джерела до оброблюваної поверхні, яка в результаті наступної енергетичної дії

приймає нові властивості; до другої групи відносяться методи, основу яких складає перенос речовини від джерела енергії до очищення поверхні, на якій ця речовина осідає, формуючи захисне покриття; в третій групі використовується джерела, які розігрівують та закріплюють тверді частки речовин в поверхневий шар виробу.

Основними характеристиками матеріалів, що визначають можливість та технологічні параметри їх обробки тепловими методами є теплофізичні властивості (теплопровідність, температуропровідність, теплоємність, теплота плавлення та фазових перетворень, температура плавлення та ін.).

Питома енергія, яка необхідна для нагріву, плавлення та випаровування різних металів наведено в [табл. 3.1](#).

Таблиця 3.1 Питома енергія, яка необхідна для нагріву, плавлення та випаровування різних металів від 25 °С

Метал	Температура плавлення, °С	Температура випаровування, °С	Питома енергія, Дж/см ³		
			Нагрів	Плавлення	Випаровування
Золото	1063	2660	2580	3820	38220
Срібло	961	2212	2330	3490	30300
Мідь	1083	2595	3650	5480	53600
Алюміній	759	2327	1540	2610	35060
Залізо	1535	2735	5310	8040	62030
Кобальт	1493	3097	5950	8350	73570
Нікель	1455	2837	5640	8370	71150
Вольфрам	3377	5952	8570	12270	114511

Таким чином, між показниками теплофізичних властивостей матеріалу та технологічними характеристиками процесів теплової обробки існує певний зв'язок, так як разом з ними на хід процесу впливає багато інших факторів, які іноді мають протилежну дію.

Однак, не дивлячись на це, при проектуванні технологічних процесів теплової обробки та аналізі їх результатів необхідно знати теплофізичні

характеристики і поведінку оброблюваного металу та їх зміну при умовах імпульсного підводу тепла за більшої густини теплової енергії.

3.1.1 Обробка деталей лазерним променем

У 2017 році виповнилось 55 років з початку досліджень практичного використання лазерів для обробки матеріалів. За цей час в усьому світі лазерна техніка пройшла шлях від макетних і лабораторних виробів до багато чисельних технологічних використань у багатьох галузях виробництва. Основоположники квантової електроніки академіки Н.Г. Басов і А.М. Прохоров уже в 60-х роках минулого століття розробили теорію електромагнітного випромінювання квантовими системами та обґрунтували можливість розробки багатьох типів сучасних лазерів, а також базові принципи взаємодії випромінювання з речовиною. В 70-х роках було створено модель квазістаціонарної лазерної абляції металів і базові положення теорії взаємодії потужного лазерного випромінювання з речовиною, розробка оптичного пробою та двох температурна модель взаємодії ультракоротких лазерних імпульсів з металами отримала в останній час широку відомість у зв'язку з появою фемтосекундних лазерів.

В Україні в кінці 60-х років у Київському політехнічному інституті вперше було виготовлено лабораторний зразок лазерної установки, що дозволило створити наукову школу та кафедру лазерної техніки та фізико-технічних технологій, а також декілька підприємств створити дільниці лазерної обробки.

Лазерна технологія включає операції обробки, зварювання, поверхневого мікролегування, нанесення покриттів, модифікування структури поверхневого шару. Лазер – джерело електромагнітного випромінювання видимого, інфрачервоного та ультрафіолетового діапазонів. Лазерне випромінювання може бути сфокусоване в пляму

малого діаметра. При цьому досягається дуже велика концентрація випромінювання, яка необхідна для обробки матеріалів. Щільність потужності досягає 10^8 Вт/см² при безперервному режимі та 10^{12} при імпульсному режимі. Тривалість імпульсу від 20 мкс до 20 нс. В залежності від інтенсивності випромінювання лазерного променя можна як розплавляти метал, так і випаровувати. Ці властивості використовуються в потужних лазерів для різання, свердління, зварювання, загартування різних матеріалів.

Однією із різновидностей лазерної обробки є лазерна аморфізація поверхні, яка полягає в отриманні поверхні з хаотичним розміщенням атомів один відносно іншого при швидкому охолодженні.

На основі лазерної техніки створюються автоматизовані лазерні технологічні комплекси, які можна об'єднати з іншими методами обробки.

Лазери суттєво відрізняються:

- робочим середовищем, в якості яких використовуються тверді діелектрики, напівпровідники, гази, рідини;
- способом створення в середовищі інверсії населеності, – способом накачки (оптичним накачуванням збудженням електронним розрядом, інтенсивною інжекцією заряду, потужним електронним опромінюванням, хімічною накачкою);
- конструкцією резонатора;
- режимом дії (безперервним, імпульсним).

Вище вказане безпосередньо визначає функціональні і технологічні можливості конкретних лазерів, активно впливають на призначення та доцільність їх використання.

В якості висококонцентрованих джерел енергії виступають різні фізичні ефекти, які дозволяють в мікроперерізах та мікрооб'ємах концентрувати високі рівні енергії. До таких джерел відносяться –

випромінювання концентроване світловим променем, електронний промінь, плазмові потоки.

Основною характеристикою таких джерел енергії є високе енергетичне насичення потоку, який дозволяє нагрівати дуже тонкі шари виробів на протязі долі секунди в широкому діапазоні можливих температур нагрівання включаючи температури оплавлення.

Після нагрівання дуже тонкого шару відбувається спонтанне його охолодження за рахунок перерозподілу тепла в холодну серцевину. При цьому швидкість охолодження часто перевищує швидкість охолодження при звичайному загартуванні у воді. Ефективність термічного зміцнення висококонцентрованими джерелами енергії в більшій мірі визначається потужністю енергетичного потоку.

Схема лазерної обробки (ЛО) та загальний вид обладнання, з використанням волоконного лазера та сканувальної оптики, для поверхневої обробки приведено на [рис. 3.1](#).



Рис. 3.1 Схема та обладнання для лазерної поверхневої термообробки

Процеси, що відбуваються у металі під дією випромінювання, залежать не тільки від інтенсивності випромінювання, але й від тривалості впливу його на матеріал. Регулюючи ці дві характеристики випромінювання, можна створити енергетичні умови, за яких відбувається зміцнення внаслідок структурних перетворень або деформування.

Частіше всього використовують обробку без оплавлення поверхні із збереженням вихідної шорсткості ($Ra = 0,16 \dots 1,25$ мкм).

Лазерне зміцнення матеріалів має ряд переваг, які відрізняють його від інших методів поверхневого зміцнення, а саме:

- можливість за допомогою лазерного випромінювання проводити як зміцнення, так і знеміцнення поверхні деталі керуванням процесами нагрівання і охолодження матеріалу;
- економія енергії за рахунок локальності зміцнення, яка дозволяє досягнути високої твердості поверхневого шару на строго визначених ділянках, зберігаючи високі динамічні характеристики основного матеріалу;
- висока продуктивність процесу;
- можливість отримати на поверхні матеріалу шар з заданими властивостями, вводячи легуючі елементи, а також змінити властивості металу у важкодоступних для більшості традиційних методів зміцнювальної обробки місцях;
- можливість застосовувати як фінішну операцію, оскільки воно не супроводжується коробленням, завдяки чому можна отримати задану шорсткість поверхні.

Залежно від режимів лазерної обробки глибина зміцненого шару може становити $0,05 \dots 3$ мм, а мікротвердість підвищується в $1,5 \dots 5$ разів.

Проте цьому прогресивному методу притаманні і певні недоліки. Основними з яких є:

- висока вартість потужного лазерного технологічного обладнання;
- недовговічність і велика вартість матеріалів лінз та дзеркал, які застосовуються для керування лазерним випромінюванням у просторі;
- необхідність застосування спеціальних покриттів для збільшення поглинаючої здатності опромінених поверхонь;

- необхідність захисту обслуговуючого персоналу від розсіяного лазерного випромінювання;
- мала продуктивність процесів під час обробки поверхонь, які мають велику протяжність;
- великі габарити лазерного технологічного обладнання.

Сутність процесу лазерного наплавлення (рис. 3.2) полягає в нанесенні на поверхню деталі шару порошку з наступним його розплавленням лазерним променем. За рахунок дифузії порошку в основний метал та швидкого охолодження утворюється однорідна структура.



Рис. 3.2 Схема та обладнання для лазерного наплавлення

Подача порошку здійснюється за допомогою газів повітря, азоту, гелію, аргону, вуглекислого газу. У випадку наплавлення самофлюсованих порошків тип газу практично не впливає на процес формування покриття. При використанні несамофлюсованих порошків слід застосовувати інертні гази щоб уникнути окиснення матеріалу порошку. При цьому найкращі технологічні властивості мають гранульовані порошки з розміром частинок 40...160 мкм.

Особливість технологічного процесу лазерної наплавлення полягає в можливості регулювання температури і часу існування рідкої фази, забезпеченні високих швидкостей охолодження наплавленого металу, що кристалізується.

До основних переваг лазерного наплавлення належать: мале (локальне) і контрольоване за глибиною проплавлення при високій міцності зчеплення; можливість отримання тонких (від 0,3 мм) шарів; малі деформації наплавлених деталей завдяки мінімізації зони термічного впливу; можливість нанесення покриття на важкодоступні поверхні; можливість підведення лазерного випромінювання до декількох робочих місць, що скорочує час не переналагодження обладнання; можливість обробки великогабаритних деталей завдяки високій продуктивності (10-25 кг/год) наплавлення та мінімальне перемішування основного матеріалу і матеріалу наплавлення.

Відновлювальне наплавлення застосовується для отримання первинних розмірів зношених або пошкоджених деталей. У цьому випадку наплавлений метал близький за складом і механічними властивостями до основного металу.

Лазерне наплавлення застосовується у випадку, якщо зона термічного впливу повинна бути мінімальною. Такій обробці піддаються хрестовини карданних валів (через жорсткий допуск на перпендикулярність осей) і тонкостінної оболонки самих карданних валів. Крім того, лазерне наплавлення може використовуватися для обробки схильних до зносу деталей з великими габаритами.

За останній час значно розширено використання технології лазерного різання не тільки прямолінійних, а й отримання отворів (рис. 3.3).



Рис. 3.3 Схема різання металів лазером

Крім того, нове покоління волоконних лазерів імпульсного типу придатне для побудови систем лазерного очищення. На відміну від класичних імпульсних YAG-лазерів – це компактні прилади з ресурсом більше 100000 годину з повітряним охолодженням та повною відсутністю якихось малоресурсних компонентів. На рис. 3.4 приведено модель імпульсного волоконного лазера YLR-20 із середньою потужністю випромінювання 20 Вт. Це компактний прилад з повітряним охолодженням та передачею вихідного пучка по волокну довжиною близько 6 метрів. На виході волокна розташований коліматор, який формує паралельний пучок діаметром близько 12...15 мм. Серійно випускаються лазери з середньою потужністю 10, 20 та 50 Вт, по окремому замовленню до 200 Вт. Частота імпульсів регульована (в різних моделях різний діапазон), але не менше 20 кГц, а енергія імпульсу близько 1 мДж.



Рис. 3.4 Зовнішній вигляд імпульсного волоконного лазера YLR-20

До описаного приладу необхідна оптична система фокусування і розгортки пучка, подібна до тієї, що використовується в конструкціях лазерних маркерів, і складається зі спеціальних приводів кутового повороту, що відхиляють дзеркала і фокусувальний об'єктив. Для стаціонарної системи очищення можна використовувати будь-які

серійні системи такого роду, а для мобільних застосувань або очищення великих поверхонь доцільно використовувати спрощені, менш габаритні.

Слід відзначити, що лазерне очищення: не пошкоджує абразивного ефекту (абразивної речовини); механічного контакту; немає термічного ефекту, а також не забруднює: оброблюваних поверхонь; немає розчинників і забруднюючих елементів та відсутнє випаровування.

Відомо, також про застосування лазерного променя для керування мікро- та наношорсткістю поверхонь. В основі даного процесу лежить ефект зниження шорсткості поверхні за рахунок лазерної абляції виступів. Цей ефект доповнюється процесами гідродинамічного затікання западин, а також мікроструктурування, що ґрунтується на виникненні поверхневих електромагнітних хвиль і періодичного рельєфу та використанні інших оптико-фізичних явищ (інтерференційних і т.д.). Всі викладені методи і прийоми дозволяють створювати оптимальні параметри оптичних поверхонь (полірування, структурування і т.д.) зі скла і пластмас, металу та інших матеріалів. Для реалізації даного процесу використовуються імпульсні CO₂-лазери (ТЕА CO₂ і щілинний), ексимерний, піко- та фемтосекундний лазери, а також спеціальні оптичні системи, системи активного контролю профілю поверхні зі зворотним зв'язком, зондський мікроскоп та мікротепловізор.

Окремий напрямок робіт цього циклу є мікро- і наноструктурування поверхні кремнію за рахунок модифікації структури та лазерної абляції, а також керування властивостями оксиду.

Перспективним є поєднання лазерної обробки з методами поверхнево-пластичної деформації (ППД), що дає змогу підвищити фізико-механічні властивості та покращити мікрорельєф поверхні.

Лазерна термодеомаційна обробка може реалізовуватися за суміщеною (гібридна дія) або роздільною (комбінована дія) схемами. Сутність процесу зміцнення за суміщеною схемою полягає в тому, що

поверхню оброблюваної деталі нагрівають лазерним випромінюванням до температури аустенізації, а потім деформують інструментом розміщеним на визначеній відстані при температурі охолодження поверхні. При використанні роздільної схеми ППД процес деформування поверхні загартованої поверхні деталі здійснюється при температурі навколишнього середовища.

Відомо, що при використанні комбінованої обробки (суміщена схема обробки з використанням лазера безперервної дії та деформуючого інструменту у вигляді ролика) сталі 45 відбувається більш інтенсивне подрібнення зерен та підвищення густини дефектів структури, а також формування у поверхневому шарі залишкових напружень стиску ($-400 \dots 500$ МПа), що спричинило підвищення малоциклової втомної міцності на 30...80% (в умовах вигину та крутіння) та зносостійкості зміцненого шару на 30% та в 10 раз у порівнянні з окремою ЛО та вихідним станом відповідно.

Поліпшення шорсткості поверхні та підвищення мікротвердості поверхневого шару, а також формування залишкових напружень стиску було реалізовано і за суміщеною схемою обробки з використанням лазера імпульсної дії та наступного ППД роликом.

Більш перспективними є комбіновані методи ЛТО з використанням методів поверхневої ультразвукової обробки (УЗО). Поєднання лазерного високошвидкісного нагрівання матеріалів з ультразвуковим деформаційним зміцненням (ЛО+УЗО) може бути реалізовано в різній технологічній послідовності (рис. 3.5), яка впливає на кінцевий результат обробки.

При суміщеній лазерній та наступній ультразвуковій обробці поверхні, яка не охолоджена, утворення мартенситу відбувається із попередньо пластично деформованого аустеніту, якому спадково передаються дислокаційна та структурна будова. Величина ступеню,

швидкості і температури деформації аустеніту визначається режимами лазерної та ультразвукової обробки, а оптимальною температурою деформування є температура сталого аустеніту.

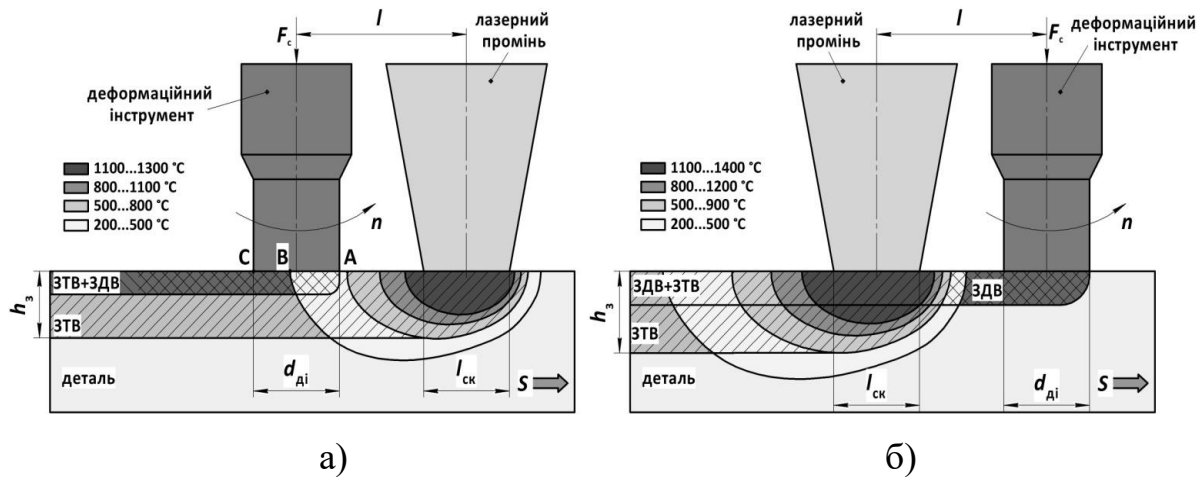


Рис. 3.5 Схеми гібридної ЛО+УЗО (а) та УЗО+ЛО (б)

На [рис. 3.6](#) приведено конструкції одно- та багатобойкових наконечників, які використовуються в комбінованих (гібридних) термодереформційних процесах зміцнення та оздоблювання виробів.

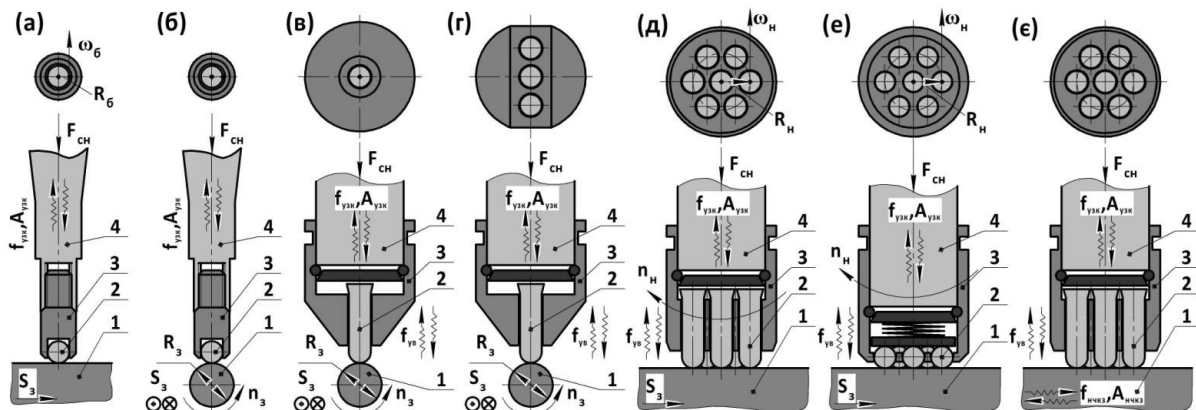


Рис. 3.6 Кінематичні схеми УЗО

3.1.2 Електронно-променева обробка

Метод заснований на перетворенні кінетичної енергії пучка електронів в – теплову. Висока щільність енергії, сфокусованого електронного променя, дозволяє обробляти заготовки за рахунок нагріву, розплавлення та випаровування матеріалу із вузьколокальної ділянки ([рис. 3.7](#)).

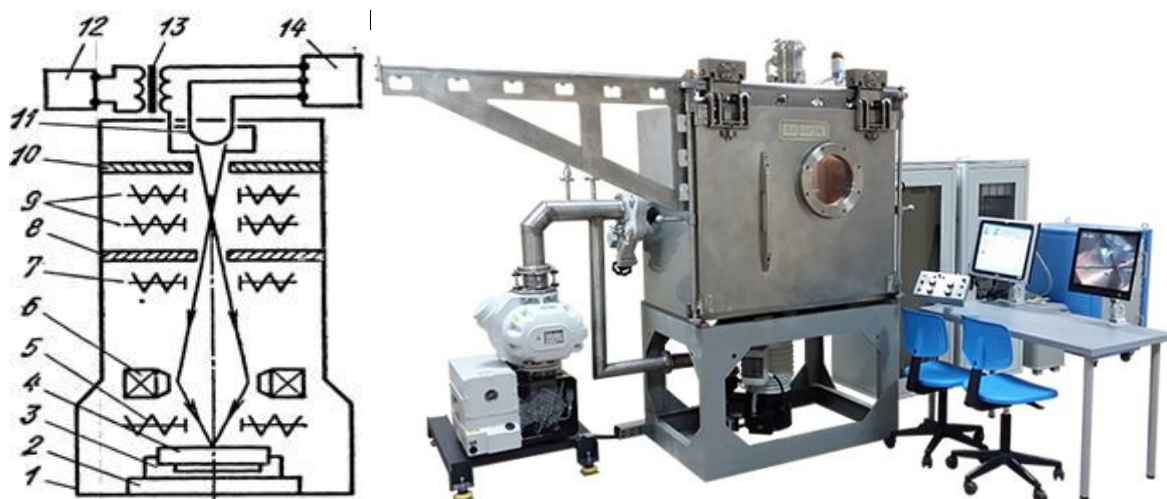


Рис. 3.7 Схема та загальний вигляд електронно-променевої установки

У вакуумній камері 1 установки, вольфрамовий катод 11, який живиться від джерела напруги 14, забезпечує емісію вільних електронів. Електрони формуються в пучок спеціальним електродом і під дією електричного поля, що створюється високою різницею потенціалів між катодом 11 і анодом 10, прискорюються у вертикальному напрямі. Потім промінь електронів проходить через систему юстирування 9, діафрагму 8, коректор зображення 7 і систему магнітних лінз 6, які остаточно формують потік електронів в промінь малого діаметру і фокусують його на поверхні заготовки 4. Промінь, по поверхні заготовки, переміщається відхиляючою системою 5. Роботу установки, в імпульсному режимі, забезпечує імпульсний генератор 12, у поєднанні з імпульсним трансформатором 13. Обробку ведуть у вакуумі, близько 10^{-6} мм рт. ст. У зоні обробки температура досягає 6000°C , а на відстані 1 мкм від кромки променя – не перевищує $T = 300^{\circ}\text{C}$. Тривалість імпульсу складає $10^{-4} \dots 10^{-6}$ с, а частота імпульсів $50 \dots 5000$ Гц. Діаметр сфокусованого електронного променя складає декілька мкм.

Електронно-променевим методом обробляють отвори діаметром від 1 до 10 мкм, прорізання пазів, розрізання заготовок, виготовлення тонких плівок і стінок з фольги і т.д. Обробляють важко оброблювані

метали і сплави - (тантал, вольфрам, цирконій, корозійностійкі сталі), а також неметалічні матеріали (рубіни, кераміку, кварц і т.д.). Недоліки – відносна складність та громіздкість. Обробка електронним променем базується на використанні теплової енергії, яка виділяється внаслідок удару до поверхні оброблюваної деталі електронів, що швидко рухаються. Для установок електронно-променевої обробки необхідна напруга 60...150 кВ. Робоча ширина променя змінюється від 3 до 30 мкм, а питома потужність енергії в плямі може досягати 10^8 Вт/см². Собівартість електронно-променевої обробки та зміцнення із застосуванням лазерів потужністю до 5 кВт є однаковою, однак лазерний промінь порівняно з електронним має ряд переваг:

- не вимагає утворення вакууму в зоні обробки, внаслідок чого випромінювання можна передавати на великі відстані;
- не спотворює магнітні поля;
- може бути транспортований за допомогою простих оптичних систем;
- не є джерелом рентгенівського випромінювання.

3.1.3 Плазмова обробка деталей

Однією з перспективних є технологія зміцнення поверхонь деталей машин висококонцентрованим джерелом нагріву - струменем плазми.

Плазмовою обробкою матеріалів називають групу операцій, в яких використовують певним чином сформований струмінь іонізованого газу (плазми), яка розвиває в місці дотику з оброблюваним матеріалом високі температури (від декількох тисяч до десятків тисяч градусів Кельвіна).

Плазмове поверхнєве зміцнення належить до методів зміцнення джерелами нагрівання з високою густиною потужності, що призводить до фазових і структурних перетворень, які відбуваються при швидкому

концентрованому нагріванні робочої поверхні деталі струменем плазми і відведення тепла в матеріал деталі.

Характеристика плазми значною мірою обумовлюється вибором плазмоутворюючого газу. Термічні параметри дугових плазмових струменів для різних газів наведені в [таблиці 3.2](#).

Таблиця 3.2 Термічні параметри плазмових струменів

Вид газу	Потужність на плазмотроні, кВт	Напруга на дузі, В	Температура плазми, К	Ентальпія плазми, кДж/г	Ефективність нагрівання газового струму, %
Азот (N ₂)	60	65	7473	46,33	60
Водень (H ₂)	62	120	5273	323,90	80
Гелій (He)	50	47	20273	237,80	48
Аргон (Ar)	48	48	14273	21,73	40

Плазма двох і багатоатомних газів містить більшу кількість тепла при більш низьких температурах. Тому для робіт, пов'язаних з теплопередачею, коли не потрібні температури більше 10000 К, доцільніше використати двоатомні газу. Для отримання ж високих температур необхідно використовувати одноатомні газу. Найважливішою відмінністю структур, які формуються при плазмовому зміцненні, є високий рівень дисперсності мартенситу, який і визначає комплекс експлуатаційних характеристик поверхонь. Плазмову обробку можна ефективно застосовувати для зміцнення не лише деталей зі сталі, але й чавуну. Недоліки та переваги зміцнювальної обробки струменем плазми аналогічні до лазерної обробки.

Пристрої, в яких формується плазма, отримали загальну назву плазмотронів. Плазмотрон – це пристрій, в якому електрична дуга розігріває газ до температури іонізації, а також розігріває порошок до температури плавлення і надає йому необхідну швидкість переміщення.

За характером дії плазмотрони поділяють на два основні типи – без переносу дуги і з переносом ([рис. 3.8](#)). В плазмотроні першого типу

електрична дуга горить між електродом з тугоплавкого матеріалу (вольфрам, графіт) і охолоджуваним водою соплом або каналом, а газ, який проходить через дугу, іонізується і виходить з сопла в формі струменя (факела) плазми. В плазмотроні другого типу дуга горить між електродом та оброблюваним виробом і струмінь плазми співпадає зі стовпом дуги. Для стійкої роботи плазмотрона і підвищення довговічності сопла електрична дуга повинна бути відповідно сформована і стабілізована вздовж повздовжньої осі плазмотрона.

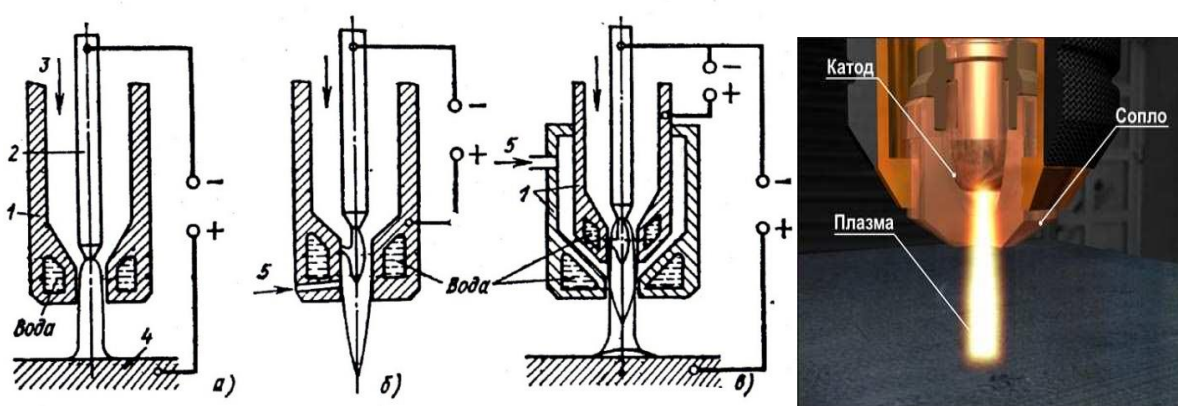


Рис. 3.8. Схеми плазмотронів: а) з дугою прямої дії (з переносом дуги); б) з дугою непрямої дії (без переносу); в) комбінованого типу:

1 – сопло; 2 – вольфрамовий електрод; 3 – ввід плазмоутворюючого газу; 4 – виріб; 5 – канал для подачі присадного порошку

Технологічне використання плазми знайшли в процесах для високотемпературного концентрованого нагріву (металургія, зварювальні процеси). В промисловості широко використовується плазмове різання різних металів та неметалевих матеріалів, плазмове нанесення покриттів із тугоплавких металів, оксидів, карбідів, нітридів.

Технологічний процес плазмового поверхневого зміцнення виробів включає наступні операції:

1) підготовка виробу до зміцнення: попередня об'ємна термічна обробка (гартування, відпуск), механічна обробка (шліфування, заточування);

2) плазмове зміцнення;

3) контроль якості зміцнення (вимірювання твердості, механічні випробування, металографічні дослідження зразків – свідків);

4) остаточна термічна або механічна обробка.

Перспективність та економічна ефективність плазмового зміцнення інструменту пояснюється можливістю отримання вищих експлуатаційних властивостей (твердості, теплостійкості, тріщиностійкості) швидкорізальних сталей порівняно з об'ємною термічною обробкою та іншими методами поверхневого зміцнення. При цьому плазмове зміцнення є ефективним як для інструменту, що працює за відносно низьких швидкостей різання (мітчики, плашки, розгортай, прошивки, протяжки і т.п.), коли необхідна, перш за все, висока зносостійкість, так і для інструменту, що працює за високих швидкостей різання (токальні відрізні та фасонні різці, дискові і кінцеві фрези), для якого необхідна висока теплостійкість і тріщиностійкість.

Характером підготовки поверхні деталі визначається якість покриття. Чим якісніше підготовлена поверхня під напilenня, тим кращим буде отримане покриття.

Підготовка поверхні деталей під напilenня здійснюється знежиренням, травленням, піскоструменевою обробкою, термічною обробкою (підігріванням), механічною обробкою.

Знежирення здійснюють розчинниками для видалення мастил та бруду з поверхні деталі.

Травленням можна створити шорстку поверхню, яка забезпечить гарне зчеплення з напильованим матеріалом.

Піскоструменевою обробкою очищають поверхню підкладки і надають їй шорсткості, що збільшує контактну поверхню, а часткове розплавлення напильених часток порошку на виступах мікронерівностей збільшує кінцеву міцність покриття.

Термічна обробка (підігрівання) забезпечує активацію поверхні підкладки і видалення з поверхні вологи.

Механічна обробка призначена для створення шорсткої поверхні підкладки методом різання різцями або шліфуванням, а також для позбавлення від дефектів зношування (овальність, конусність, хвилястість).

Газотермічним напиленням називають процес нанесення покриттів шляхом нагрівання матеріалу до рідкого стану і розпилення його на виріб-підкладку за допомогою газового струменя. Малий термічний вплив на напилювану основу (приблизно 80...150°C) дозволяє виключити небажані структурні перетворення, уникнути деформації виробу, створює можливість нанесення покриття на основу з найрізноманітніших матеріалів (металів, кераміки, бетону, дерева, картону та ін.).

Такі переваги обумовлюють високу універсальність газотермічного напилення, яка дозволяє наносити покриття з широким спектром службового призначення – зносостійких, корозієстійких, теплозахисних, електроізоляційних та інших, а також для відновлення розмірів зношених деталей.

Матеріали для напилення виготовляють у вигляді порошку або дроту. Переваги напилення порошкоподібними матеріалами в порівнянні з дрововими такі:

- більш однорідна (без подальшої обробки) і дрібна структура покриття;
- можливість отримання комбінованих покриттів і так званих псевдосплавів змішуванням порошків з різних матеріалів;
- низька вартість.

Використовують два основні способи плазмового різання (рис. 3.9): роздільний (рис. 3.9а), коли метал прорізується на всю глибину та поверхневий (рис. 3.9б), який називається струганням.

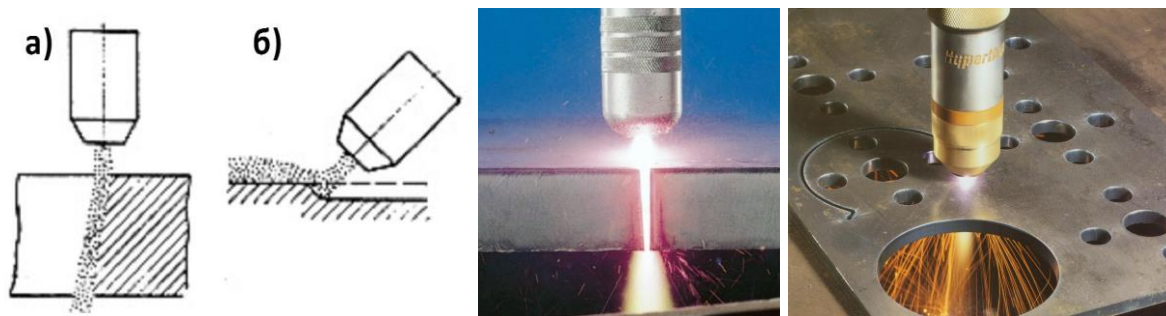


Рис. 3.9 Схема та зовнішній вигляд плазмового різання металу

Плазмове різання поряд з кисневим та повітряно-дуговим відноситься до групи процесів термічного різання, які мають переваги в порівнянні з різанням механічними інструментами. Перш за все це мала залежність продуктивності операції від механічних властивостей матеріалів, можливість розрізання заготовок значної товщини, отримання різів будь-якої конфігурації. Плазмовим різанням можна різати практично будь-які метали та сплави, в той же час як, наприклад, кисневим різанням – тільки вуглецеві сталі.

3.1.4 Електроерозійна обробка

Ерозія – латинське слово, що означає «роз’їдання», повне або часткове руйнування металів. Електроерозійна обробка (ЕЕО) – це метод обробки металів, що ґрунтується на руйнуванні їх поверхні електричним струмом.

В процесах електроерозійної обробки матеріал заготовки в зоні обробки плавиться і (або) випаровується і видаляється в рідкому і (або) пароподібному стані. Видалення носить імпульсний характер, відбуваючись дуже швидко ($10^{-5} \dots 10^{-7}$ с) на невеликій ділянці поверхні, в місці локалізації каналу розряду. Канал розряду - це заповнена плазмою циліндрична область малого січення, яка виникає між електродами, які знаходяться на відстані один від одного міжелектродного проміжку.

Електроерозійне зміцнення використовують для покращення фізико-механічних властивостей металевих поверхонь: підвищення стійкості

проти спрацювання, корозійної тривкості, жаростійкості, тощо. Основною перевагою електроерозійного зміцнення є можливість керування експлуатаційними властивостями покриття зміною фізико-хімічних і структурних характеристик електродних матеріалів.

В основі ЕЕО лежить руйнування струмопровідного матеріалу під дією тепла, яке викликане електричними імпульсними розрядами, що діють між оброблюваною заготовкою та електродом-інструментом (ЕІ), які розташовані на деякій відстані один від одного (рис. 3.10а).

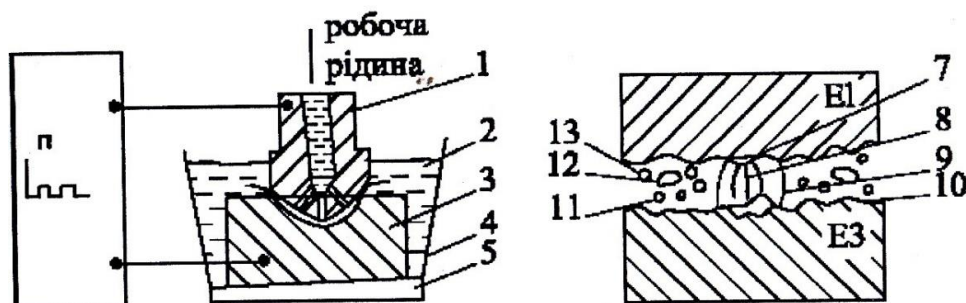


Рис. 3.10. Схема електроерозійної обробки (а) і процесів в міжелектродному проміжку (б): 1 – електрод-інструмент (ЕІ); 2– робоча рідина; 3– електрод-заготовка (ЕЗ); 4 – ванна; 5 – робочий стіл; 6 - генератор імпульсів (ГІ); 7,10 – мікропорції розплавленого металу ЕІ і ЕЗ; 8 – канал розряду; 9 – газова бульбашка; 11– бульбашка пари або газу; 12 – продукти піролізу; 13 – частинки металу

Електроерозійна обробка проводиться в електролітній ванні, яка заповнена діелектричною рідиною (гасом, технічним маслом, водою і т.д.). Видалення матеріалу з поверхні заготовки є складним комплексом фізичних явищ (рис. 3.10б), в основі яких лежать електротермохімічні процеси. Завдяки концентрації енергії в каналі імпульсного розряду 8 між ЕІ і ЕЗ розвивається висока температура (5000...40000 °С), при якій мікропорції матеріалу заготовки та інструменту плавляться і частково випаровуються. Розповсюдження парів за межі розрядного каналу 8, а також процес розширення каналу призводять до утворення газової бульбашки 9 в рідині. В результаті в розрядному каналі та газовій бульбашці розвиваються мікропорції розплавленого матеріалу ЕІ 7 та

ЕЗ 10, які викидаються за межі електродів і застигають в рідині у вигляді дрібних частинок сферичної форми 13.

Паралельно розкладається діелектрична рідина (піролізу) з утворенням газоподібних продуктів 12, а також утворення тонкої плівки кристалічного графіту на мідних та графітних електродах-інструментах, яка захищає їх від зношування. Після розряду відбувається деіонізація міжелектродного проміжку. Наступний розряд виникає в новому місці між поверхнями Е1 і ЕЗ. Так відбувається доти, доки розряди не видалять з них всі ділянки металу, які знаходяться на пробивній відстані. Якщо електроди не рухати, то зазор між ними поступово зростає і настає момент, коли електричні розряди припиняються. Для відновлення процесу необхідно зближувати Е1 і ЕЗ, що здійснюється за допомогою систем автоматичного регулювання міжелектродного проміжку, в яких за параметр регулювання зазвичай використовують напругу на міжелектродному проміжку, або струм, що проходить через нього.

Основні переваги ЕЕО:

- можливість обробки струмопровідних матеріалів будь-якої механічної міцності, твердості, в'язкості, крихкості;
- відсутність необхідності в спеціальному високоміцному інструменті (матеріал робочої частини інструменту: мідь, латунь, графіт тощо);
- зниження трудомісткості виготовлення складних поверхонь з важкооброблюваних матеріалів;
- висока точність обробки.

Недоліки ЕЕО:

- зворотна залежність між продуктивністю та якістю обробки;
- зношування електрода-інструменту;
- наявність дефектного шару на обробленій поверхні.

ЕЕО залежно від режиму обробки іноді поділяють на анодно-механічну, електроіскрову, електроімпульсну, електроконтактну,

високочастотну та інші різновиди. Різняться вони між собою в основному електричною схемою і призначенням.

Всі способи електроерозійної обробки виконують на верстатах. За призначенням їх поділяють на відрізні, заточувальні, шліфувальні, копіювальні, копіювально-прошивні, комбіновані. Усі вони мають генератор імпульсів струму, автоматичну подачу електродів, систему відсмоктування газів і пари. У деяких системах заготовки і електроінструмент поміщають у діелектричну рідину. У цих випадках верстат має ще й систему постачання робочою рідиною.

Найбільше розповсюдження отримали копіювально-прошивні верстати, основними елементами яких є: станина, інструментульна головка з електроінструментом та регулятором подачі для підтримки заданого міжелектродного проміжку, ванна зі столом для установки електрода-заготовки з робочою рідиною, механізми відносного переміщення Е1 і Е3, система очищення робочої рідини і подачі її в зону обробки, генератор імпульсів та інші елементи.

Електроерозійне шліфування – це процес обробки поверхонь, що обертаються. Шліфування здійснюється торцем або периферією електрода-диска, виготовленого з латуні, чавуну або графіту. Для внутрішнього шліфування отворів малого діаметра як Е1 застосовують дріт. Робочим середовищем служить індустріальне масло або його суміш з гасом в пропорції 1:1.

Процес забезпечує за м'яких режимів точність 7...8 квалітету, шорсткість поверхні $Ra = 3...0,2$ мкм і застосовується для шліфування магнітопроводів з ізольованих пластин електротехнічної сталі, робочих елементів твердосплавних штамів, різців фасонів, калібрів, цанг та інших виробів з важкооброблюваних матеріалів.

Обробка не профільованим Е1 (дротом) застосовується для виготовлення складних контурних отворів, пазів, зовнішніх профілів,

прорізання вузьких щілин і розрізання різних матеріалів. В якості Е1 використовується тонкий дріт діаметром 0,006...0,3 мм з латуні, міді, вольфраму, який для усунення впливу зношування інструменту на точність обробки безперервно перемотується з однієї котушки на іншу так, що в робочій зоні беруть участь нові її елементи. Е3 закріплюється на столі, який переміщається відносно Е1 по заданій траєкторії за допомогою будь-якої системи програмного керування. Робочою рідиною служить гас або вода. Процес здійснюється за прямої полярності.

Продуктивність обробки складає 0,003...0,5 мм/с, точність $\pm 0,02...0,003$ мм, а шорсткість поверхні $Ra = 0,6...2$ мкм.

Процес широко застосовується для виготовлення інструментального оснащення (матриць, пуансонів, шаблонів, калібрів, різців з твердого сплаву і т.д.). На заводах електронної, радіоелектронної і обчислювальної техніки цей метод використовують для точного виготовлення як щодо великих деталей, наприклад, пружин довжиною до 300 мм і мідних гребінок довжиною до 45 мм, так і мініатюрних та надмініатюрних деталей з дуже високими вимогами точності (0,5...2 мкм) і шорсткості ($Ra = 0,16...0,04$ мкм) поверхні.

3.1.5 Електроконтактне зміцнення

Суть електроконтактного зміцнення полягає в отриманні покриття із порошкових матеріалів на поверхні деталі. Цього досягають наплавленням металічного порошку на ці поверхні внаслідок електроконтактного нагрівання порошку до температури плавлення.

Наплавлення - це процес нанесення шару сплаву потрібного складу і властивостей на робочу поверхню виробу. Наплавлення широко застосовують для виготовлення нових та відновлення спрацьованих поверхонь, для утворення поверхневого шару, який мав би високу

твердість і стійкість до спрацювання, потрібну жаро – або кислотостійкість тощо.

Зміцнення наплавленням підвищує стійкість деталей проти абразивного зношування, електрохімічної корозії, ерозії, кавітаційного руйнування, утворення окалини, термічної і контактної втоми, дає змогу замінити високолеговані сталі вуглецевими, а кольорові метали – чорними. Методи наплавлення використовують для відновлення й одночасно для зміцнення деталей, які відпрацювали свій ресурс.

Деталі, що підлягають наплавленню, ретельно очищують від оксидів, бруду, масла, іржі та фарби. Наплавляють метал на очищену поверхню. Канавки, пази і отвори, які треба зберегти, закривають мідними, графітовими або вугільними вставками. Під час наплавлення спостерігаються високі швидкості розплавлення і застигання розплаву та значна інтенсивність хімічних та термохімічних процесів. Якість наплавленого шару залежить від умов роботи деталей і допустимого зношування поверхонь. Для деталей, які працюють в умовах тертя, товщина наплавленого шару не повинна перевищувати 4 мм, а в умовах невеликих ударних навантажень – 2 мм, якщо твердість наплавленого шару HRC 45...46, а теплостійкість 1000...3000 °C.

Вирішальне значення для отримання необхідних експлуатаційних властивостей деталей має правильний вибір наплавлюючого матеріалу та способу його нанесення. Є багато різних способів наплавлення, проте найбільш поширені такі: ручне дугове, автоматичне та напівавтоматичне дугове, газовим полум'ям, плазмовою дугою, вібродугове, струмами високої частоти, електрошлакове.

Процеси електроконтактного зміцнення мають такі основні переваги:

- високу продуктивність і низьку енергоємність процесу нанесення покриття;

- мінімальну зону термічного впливу струму на деталь внаслідок малої довжини імпульсу нагрівання;
- відсутність необхідності у використанні захисної атмосфери з огляду короткотермінового термічного впливу на матеріал покриття;
- відсутність світлового випромінювання і газовиділення.

Встановлено, що нанесені електроконтактним методом порошкові покриття мають високі фізико-механічні властивості. Зносостійкість покриттів знаходиться на рівні сплавів, отриманих електродуговим наплавленням, істотно перевершуючи термічно оброблені вуглецеві і низьколеговані сталі. Проте залишкові напруження розтягу, які утворюються при нанесенні покриттів, є одним із основних факторів, що знижують працездатність зміцнених деталей.

Товщина покриттів після електроконтактного зміцнення від десятків мікрометрів до декількох міліметрів. Зношування деталей зменшується в 2...5 разів.

Ручне дугове наплавлення є універсальним способом і широко застосовується в наплавленні штампів, різального інструменту, хрестовин тощо. Для цього найчастіше використовують металеві електроди, що їх випускає промисловість. Щоб дістати наплавлений метал погрібного складу і властивостей, у шихту електродних покриттів вводять різні легуючі елементи у вигляді ферохрому, феромангану, феросиліцію, графіту тощо, які дають змогу мати наплавлений метал різної твердості (25...65 HRC) та високої стійкості до спрацювання.

3.1.6 Суть методу електроіскрового зміцнення

Суть процесу зміцнення способами електроіскрової обробки полягає у легуванні поверхневого шару виробу (катода) матеріалом електрода (анода) з використанням електроіскрового розряду в середовищі повітря. Зміцнення металевих поверхонь способом електроіскрового зміцнення

(легування) засновано на явищі електричної ерозії матеріалів в імпульсному електричному розряді, яка у випадку протікання процесу в газовому середовищі супроводжується переважним перенесенням матеріалу анода (легуючий електрод) на катод (деталь). Значна частина продуктів ерозії матеріалу анода в розплавленому та пароподібному станах, досягаючи поверхні катода, взаємодіє з нею. При цьому відбувається інтенсивне перемішування продуктів ерозії анода з матеріалом катода, хімічна взаємодія з ним, а також взаємна дифузія. На поверхні деталі формуються шари, що складаються в основному з матеріалу анода і продуктів взаємодії матеріалів електродів між собою та з елементами оточуючого середовища.

Переваги електроіскрового зміцнення легуванням полягають у можливості нанесення покриттів не тільки з металів і їх сплавів, але і з композиційних матеріалів, високій міцності зчеплення основного та перенесеного матеріалу, простоті технологічних операцій. Більш широкому впровадженню способу електроіскрового зміцнення в промисловості може сприяти всебічне дослідження структури, фазового складу та властивостей зміцнених шарів, серед яких велике значення мають трибологічні властивості.

Для отримання покриттів методом електроіскрового легування (ЕІЛ) використано установку ЕІЛВ-8А. Зміцнені шари товщиною понад 50 мкм при шорсткості $Ra < 12,5$ мкм було нанесено при наступних параметрах ЕІЛ: ємність та розрядний струм накопичувального конденсатора складала відповідно 150 мкФ та 0,9...1,0 А; частота коливань електроду вібратора – 450 Гц; питомий час легування – 5 хв/см². Електродами для ЕІЛ слугували циліндричні стержні діаметром 3 мм та висотою 20...25 мм, виготовлені з вольфраму та молібдену.

Результати показали, що при ЕІЛ сталі 45 вольфрамом та молібденом «білі» шари, що не травляться мали товщину після шліфування відповідно

70 та 50 мкм. Для покриттів отриманих ЕІЛ вольфрамом, мікротвердість цього шару складала 9,4 ГПа. Під покриттям формується перехідна зона товщиною 40...60 мкм з мікротвердістю, яка рівномірно зменшується по глибині до твердості основного матеріалу. Поява у верхній частині перехідної зони багатофазних гартувальних структур високотемпературним нагрівом поверхневих шарів в процесі ЕІЛ та інтенсивним відводом тепла вглиб основного матеріалу.

Крім того, внаслідок хімічних реакцій легованого матеріалу з дисоційованим атомарним азотом і вуглецем повітря, а також з металом деталі, у поверхневих шарах виникають загартовані структури і складні хімічні сполуки (високодисперсні нітриди, карбонітриди і карбіди).

Електроіскровому зміцненню піддають поверхні деталей машин та механізмів типу напрямних, клинців, кулачків, фіксаторів, притискачів, шпонкових пазів шліців, отвори корпусних деталей, виготовлених з конструктивних легованих та вуглецевих сталей.

3.2 Основні поняття про поверхнєве пластичне деформування

Раціональний вибір способів механічного зміцнення та впровадження їх у практику дає змогу змінювати зносостійкість, втомну міцність, корозійну стійкість та інші експлуатаційні властивості деталей машин.

Зміна форми кристалічних зерен в процесі деформування сприяє їх механічному зчепленню та ускладнює взаємне переміщення, яке спостерігається під час пластичного деформування полікристалів. Внаслідок всіх перерахованих явищ відбувається загальне зміцнення деформованого металу (наклеп).

Наклеп поверхні викликає збільшення об'єму металу, чому перешкоджають нижче розташовані менш наклепані шари, внаслідок чого виникають залишкові напруження першого роду, що врівноважуються в макрооб'ємах металу.

Внаслідок зміцнення поверхневих шарів поверхневим деформуванням можна забезпечити покращення фізико-механічних властивостей металу внаслідок структурних перетворень, подрібнення зерен, а також формування в поверхневому шарі залишкових напружень стиску, що виникають за рахунок розвитку зміщень кристалічної ґратки. Експлуатаційні властивості деталей визначаються всіма цими чинниками. До цього слід додати і покращення якості поверхні, що спостерігається в зменшенні висоти нерівностей їх конфігурації, що важливо, наприклад, для поверхонь пар тертя.

Залежно від форми, розмірів деталі, вимог, що ставляться до геометричних параметрів та якості поверхні, виробничих та інших умов можуть застосовуватись різноманітні способи зміцнювальної обробки ППД. Ці способи відрізняються за схемами силової дії на оброблювану деталь, продуктивністю, економічністю та іншими показниками.

Основною причиною зміцнення деталей при ППД є різкий розвиток дислокацій - дефектів кристалічної решітки металу, які накопичуються поблизу ліній зсувів, та наступне їх зупинення перед перешкодами різного роду, які утворюються внаслідок деформування (схрещення дислокацій, траєкторії руху яких пересікаються між собою під деяким кутом, лінії деформування та ін.), або тими, що вже існували (міжкристалічні граничні шари, накопичення атомів домішок, елементи іншої фази та ін.).

Підвищення силових параметрів обробки може привести до перенаклепу, в результаті якого в поверхневому шарі з'являються небезпечні мікротріщини, намічається утворення частинок відшарованого металу, а поверхневі зерна сплющуються так, що стають майже одним цілим. Різко збільшується шорсткість поверхні. Наклеп металу можна частково або повністю зняти шляхом відпалу. Перенаклеп – необоротний процес, за якого нагрів не встановлює вихідну структуру металу та його механічні властивості.

3.2.1 Порівняльний аналіз та області застосування різних методів поверхнево-пластичного деформування

Обробляють поверхневим пластичним деформуванням (ППД) найбільш важконавантажені деталі машин та механізмів, від працездатності яких залежить надійність та довговічність виробів.

Як приклад, на [рис. 3.11](#) та [3.12](#) показано типові деталі, які приймають максимальне навантаження, відповідно вантажного автомобіля та дизельного двигуна, зміцнювані методами ППД. З тисяч найменувань деталей в машині зазвичай декілька десятків або декілька штук деталей необхідно зміцнювати цими методами. Основні деталі можна згрупувати наступним чином:

- деталі, що працюють в умовах знакозмінних навантажень, які викликають втомні руйнування (торсіони, силові гвинти, балансіри, шатуни, шестерні, лонжерони, лопасті, пружини, напівосі, диски);
- деталі, що працюють в умовах високих швидкостей відносно переміщення та великих тисків з мінімальними зазорами при збідненому мастильному матеріалі, що призводить до схоплювання металу (поршні, розподільники, шатуни зі сферичними головками, поршневі кільця, золотники, плунжери, шпинделі);
- деталі, що працюють в умовах абразивного зношування (пальці трака, дифузори, крильчатки, гальмівні диски та барабани, колеса, опорні ролики, робочі деталі сільськогосподарських, землерийних та інших машин);
- деталі, що працюють в умовах окислювального зношування (шийки колінчастих валів, циліндри, підшипники ковзання);
- деталі манжетних скупчень, до герметичності та зносостійкості яких висуваються високі вимоги (вали, втулки, осі, штоки);
- деталі, що контактують з газовим потоком, який має високу швидкість, температуру та тиск (труби, лопатки та диски турбін, камери);

- деталі, що працюють в умовах контактних-втомних напружень (бігові доріжки підшипників, цапфи шестерень, опорні шийки, хрестовини, поворотні кулаки);
- інструментальні деталі, що працюють в важких умовах тертя ковзання (валки холодного прокатування, пуансони, матриці, протяжки).

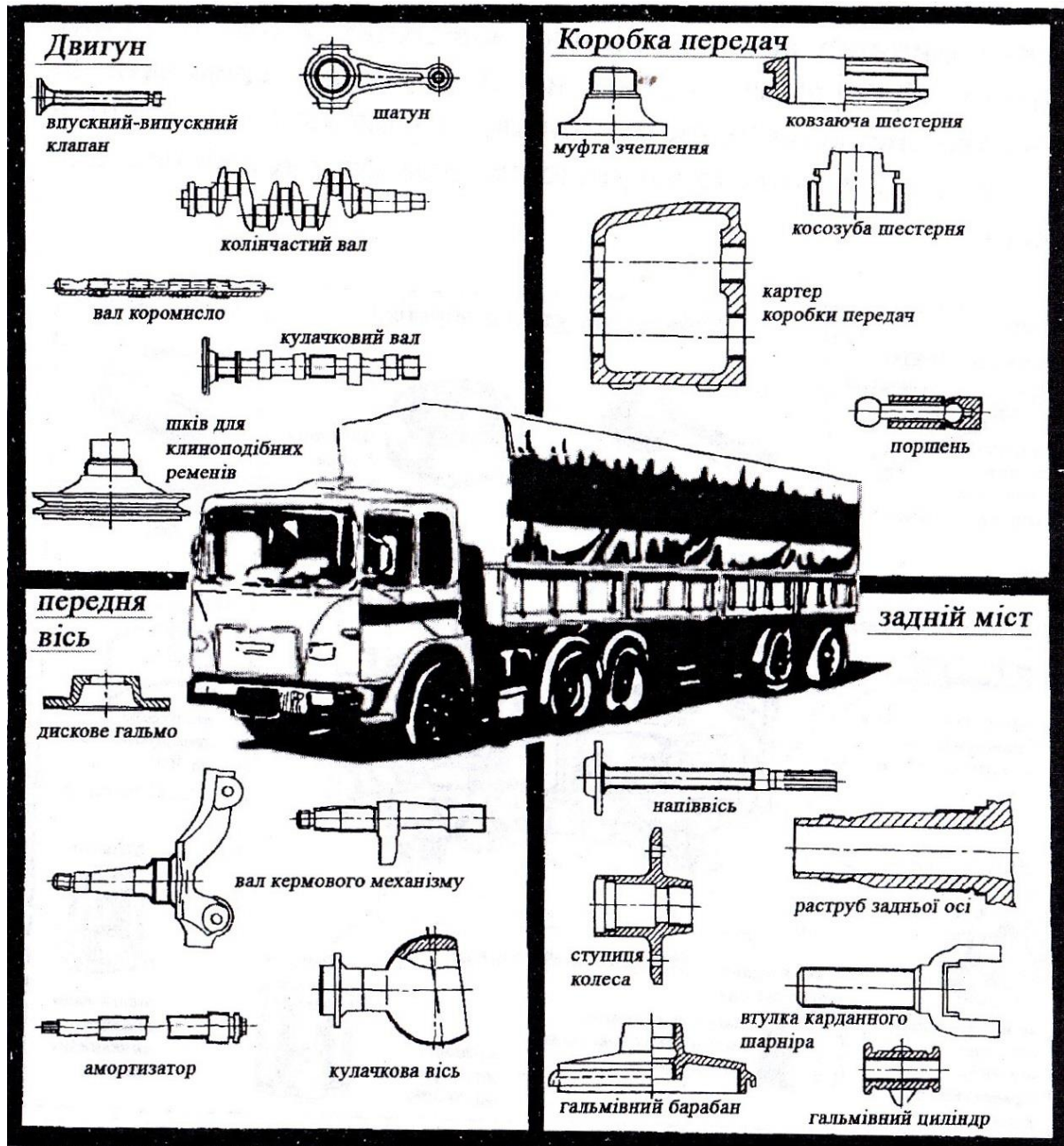


Рис. 3.11 Приклади застосування методів ППД для зміцнення деталей вантажного автомобіля

Крім того, методами ППД ефективно зміцнюють деталі, що піддаються корозійно-втомній дії, фретинг-корозії, ударним навантаженням, кавітаційній дії та багатьом іншим видам та умовам навантаження.

Залежно від розмірів, форми, матеріалу деталі, призначення обробки, серійного виробництва та інших факторів в кожному конкретному випадку вибирають найбільш оптимальний метод ППД.

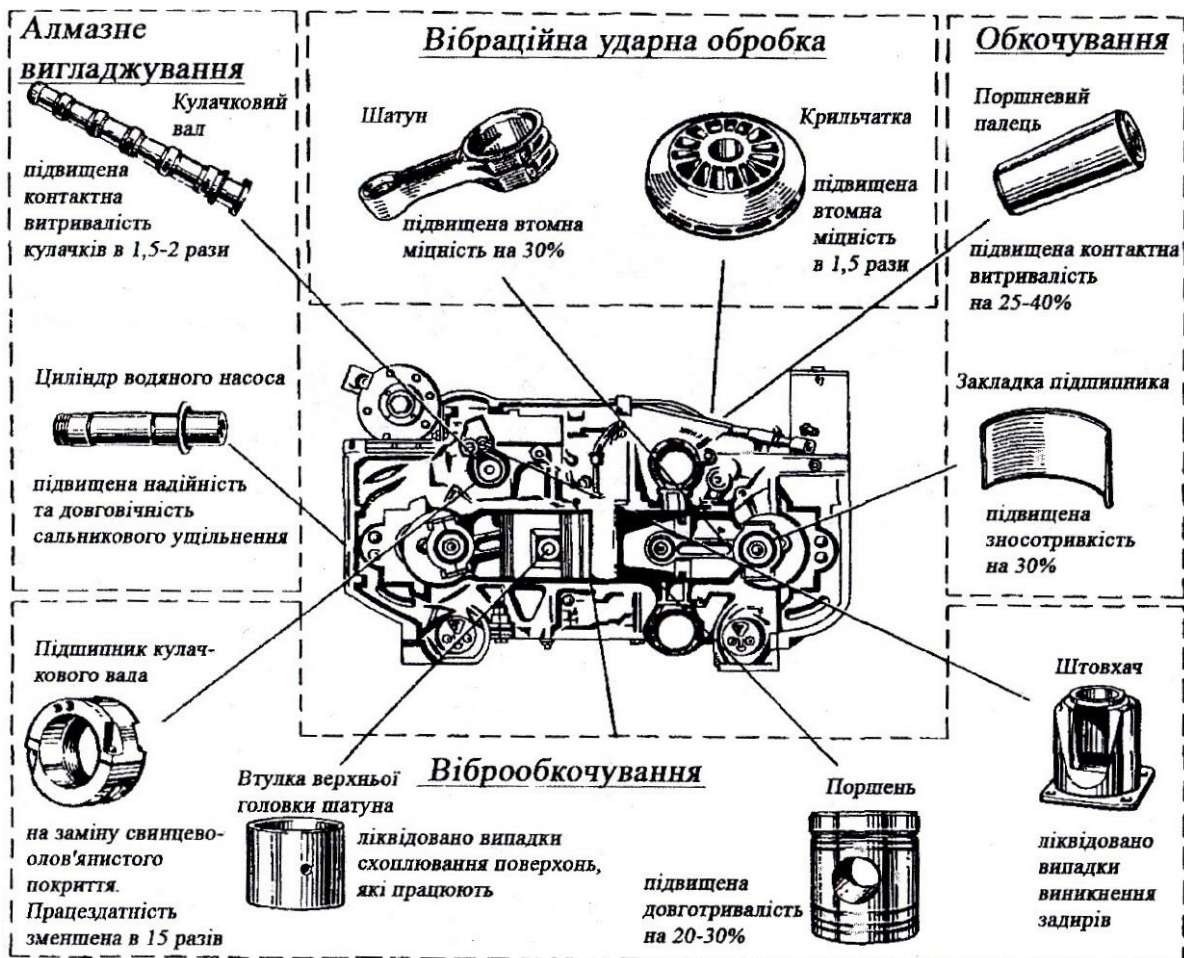


Рис. 3.12 Приклади застосування методів ППД для зміцнення деталей дизельного двигуна

В багатьох випадках доцільно застосовувати накочування (розкочування, обкочування), алмазне вигладжування, віброударну обробку та обробку дробом, а також вібраційне обкочування (вібровигладжування). Ці методи універсальні, вони доповнюють один одного та в комплексі забезпечують зміцнення різноманітних деталей.

Накочування, вібраційне вигладжування та алмазне вигладжування виконують зазвичай на звичайних металорізальних станках з допомогою нескладного устаткування, а об'ємну віброударну обробку та обробку дробом – на спеціальних вібромашинах та установках.

Сучасний арсенал способів механічного зміцнення нараховує до десяти напрямів та 120-ти різновидів оздоблювально-зміцнювальних операцій, об'єднаних спільною назвою поверхневе пластичне деформування (ППД), які дають змогу не тільки покращити мікрорельєф поверхні, а й змінити будову та властивості поверхневих шарів металу.

Вимоги до технологічності конструкцій деталей, які обробляються ППД на універсальних та спеціальних станках, приблизно такі ж, як і вимоги до деталей, які піддаються механічній обробці.

ППД розповсюджений та ефективний спосіб підвищення несучої здатності металічних деталей машин, який переважно застосовують як завершальну операцію технологічного процесу виготовлення деталі.

Обробка заготовок методами ППД відбувається без зняття стружки. Пластичне деформування поверхневих шарів виконують різноманітними способами, які умовно можна поділити на дві групи.

До першої належать такі, під час яких зусилля деформування від інструменту створюється безперервним контактом з деталлю (статичні), до другої – ті, під час яких необхідна ударна дія по деталі робочих тіл або інструменту (динамічні). Ступінь пластичної деформації $\varepsilon = d/D$, де d – діаметр відбитка (лунки); D – діаметр втисненої сфери. Для різних методів ППД та різних умов обробки $\varepsilon = 0,1...0,9$, а для конструкційних сталей $\varepsilon = 0,3...0,7$.

Незважаючи на розмаїття способів ППД, їх поєднує спільність основних процесів та впливів на стан металу та оброблюваної поверхні. За різних умов обробки проявляються або неперервні або дискретні особливості матеріалів.

3.2.2 Статичні та динамічні методи зміцнення поверхнево-пластичним деформуванням

За характером взаємодії інструменту з оброблюваною поверхнею деталі способи ППД поділяються на дві групи: статичні та динамічні. Статичні способи зміцнення характеризуються сталим нерозривним контактуванням зміцнювального інструменту з оброблюваною поверхнею деталей. Для динамічних характерний дискретний, як правило, нетривкий у часі ударний контакт інструменту чи групи інструментів зі зміцнюваною деталлю. Через забезпечення різнопланових властивостей поверхневого шару оброблених деталей, що обумовлені різними за характером впливами інструменту, статичні ширше використовують для оздоблювальних операцій та для покращення зносостійкості оброблених поверхонь, а динамічні для обробки деталей, на які в процесі експлуатації діють динамічні та циклічні навантаження. До методів статичного зміцнення належать формотворні та зміцнювально-калібрувальні. Формотворні методи широко використовують для накочування різей, зубчастих коліс, шліцьових валів та інш. у пластичних металах за допомогою твердих інструментів. Необхідний профіль формується завдяки втисканню інструменту в оброблювану поверхню і витісненню металу в профільні заглибини. До зміцнювально-калібрувальних методів відносяться такі, як: поверхневе дорнування, вигладжування, зміцнювальне обкочування та розкочування як з накладанням вібрацій, так і без них, вібраційне накочування, вібраційне вигладжування та зміцнення тертям.

До динамічних способів зміцнення відносять такі методи, як: карбування, вібраційна ударна обробка, обробка дробом (дробоструминна, дробометальна, гідродробоструминна), ультразвукова обробка, відцентрова обробка, ударне розкочування, обробка механічними щітками.

До переваг статичних способів зміцнення деталей ППД можна віднести:

- здатність забезпечити високу чистоту оброблених поверхонь з утворенням регулярного чи частково регулярного мікрорельєфу, що дає змогу суттєво підвищити їх зносостійкість;

- широка універсальність як способів статичної групи в цілому, так і обладнання для їх реалізації;

- простота, надійність та незначна вартість обладнання для реалізації процесів;

- здатність регулювання в широких межах технологічних параметрів зміцнення, що дає змогу забезпечити різнопланові фізико-механічні властивості матеріалу поверхневого шару;

- придатність для застосування не тільки для зміцнювальних, а і для оздоблювальних операцій.

Недоліком способів статичного зміцнення є складність обробки деталей складної геометрії.

Загальними перевагами способів динамічного зміцнення є:

- їх висока продуктивність завдяки одночасному використанню великої кількості деформуючих інструментів;

- забезпечення високого рівня показників якості зміцнювальної обробки (глибини залягання зміцненого шару матеріалу, поверхневої мікротвердості, залишкових напружень стискання);

- придатність для обробки деталей складної геометричної форми;

- універсальність обладнання, його здатність до швидкого переналагодження на обробку широкої гами різноманітних за формою і призначенням деталей.

Недоліки способів динамічного зміцнення:

- забезпечення гіршої, порівняно зі статичними способами, якості обробленої поверхні, вищої їх шорсткості;

- недовговічність внаслідок динамічних ударних навантажень окремих вузлів та деталей пристроїв для динамічного зміцнення.

3.2.3 Відцентрова обробка

При відцентровій обробці по оброблюваній обробці поверхні наносять послідовні удари елементами (кульками або роликами), що вільно розміщені в радіальних отворах диска, який обертається (рис. 3.13).

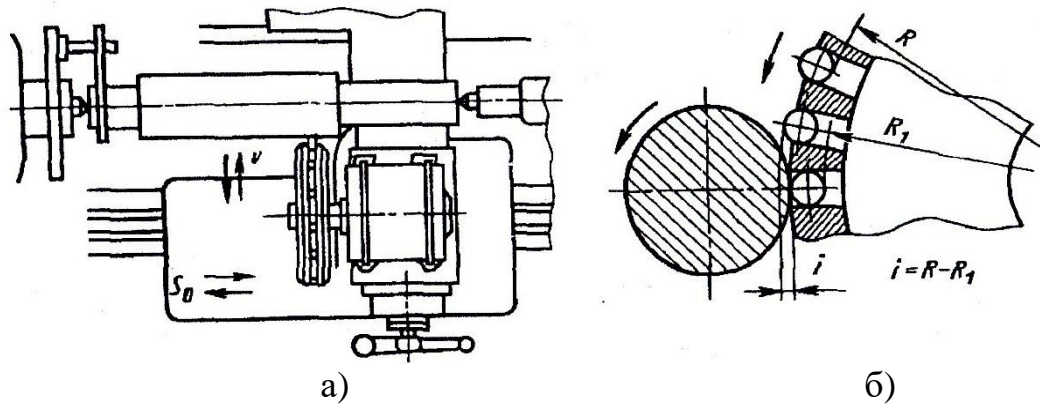


Рис. 3.13 Схема відцентрового методу обробки:
а) розташування відцентрово-кулькового пристрою на верстаті;
б) зона взаємодії кульок з оброблюваною поверхнею

Робочі елементи під дією відцентрових сил займають крайнє положення в радіальних отворах, а при ударі по оброблюваній поверхні опускаються на глибину, яка дорівнює натягу, передаючи енергію, що створюється відцентровою силою.

Метод застосовують в основному для підвищення опору втоми деталей, які працюють в тяжких умовах експлуатації. За вірно призначених умов та режимів зміцнення за допомогою цього методу вдається підвищити опір втоми оброблених деталей в 1,5-4 рази.

При оптимальних параметрах зміцнення шорсткість грубих поверхонь ($Ra = 5...20$ мкм) зменшується в десятки разів і досягає значення $Ra = 0,63...1,25$ мкм. При обробці поверхонь з $Ra = 0,32...0,63$ мкм параметр шорсткості зменшується до $Ra = 0,08...0,16$ мкм. Для поверхонь з $Ra = 0,08$ мкм його значення зменшується незначно або залишається незмінним. В окремих випадках параметр шорсткості збільшується, оскільки по краях лунок утворюються напливи, висота яких перевищує початковий параметр шорсткості.

Температура поверхні в момент деформації може досягати 200...450 °С, проте це, як правило, не викликає структурних змін.

Твердість поверхневого шару в порівнянні з твердістю шару, який не наклепується, підвищується. Зокрема, в середньому при обробці силуміну твердість зміцненого шару збільшується на 50%, сталі 25 – на 45%, чавуну – на 30...60% і латуні – на 60 %. Глибина наклепу досягає 0,6...0,8 мм та більше.

Від точності установки кульок в сепараторі залежить нормальна робота зміцнювання. В зв'язку з цим необхідне його ретельне балансування.

Залежно від режимів та умов роботи зміцнювання вибирають відповідну конструкцію відбивачів кульок. Так, наприклад, при обробці з великим натягом в корпусі зміцнювання 3 (рис. 3.14а) виконують радіальні отвори, розташовані навпроти кульок 1, в які запресовують нерухомі відбивачі 2 із загартованої сталі. При такій конструкції кулька відскакує від жорсткої опори.

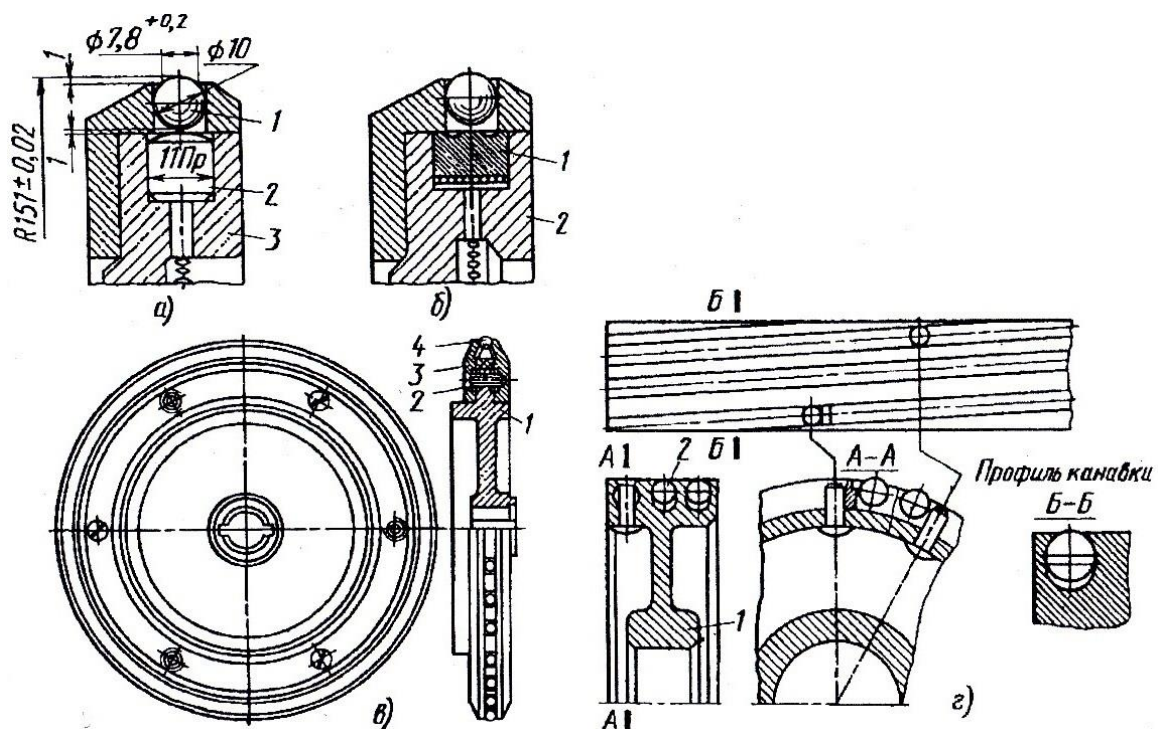


Рис. 3.14 Відцентрові зміцнювачі

При роботі з малим натягом доцільні зміцнювання (рис. 3.14б), в яких плаваючий відбивач 1 може переміщатися в радіальному отворі корпусу зміцнювання 2.

В деяких конструкціях зміцнювачів (рис. 3.14в) кульки 4 базують між двома точно відшліфованими тарілчастими дисками 3, виготовленими зі сталі ХВГ.

3.2.4 Виглажування

Вигладжування процес поверхневої обробки деталі, який полягає у пластичному деформуванні оброблюваної поверхні інструментом, що ковзає по ній – виглажувачем. Вигладжування можна уявити як тертя в умовах пружно-пластичної деформації однієї з поверхонь. Оскільки твердість інструменту значно більша від твердості оброблюваної поверхні, мікронерівності алмазного наконечника (алмазне вигладжування) начебто "впресовуються" в неї та викликають додаткову локальну пластичну деформацію приконттактних шарів металу.

При вигладжуванні інструмент розсуває метал, утворюючи канавку на поверхні. При цьому створюються три види осередків деформації залежно від співвідношення глибин входження інструменту та вихідних параметрів шорсткості (рис. 3.15а).

Контур контакту передньої напівсфери наконечника з деталлю достатньо точно описує дуга AB_1 (рис. 3.15б), яка відповідає куту α , і парабола B_1C_1 . Область контакту задньої напівсфери наконечника обмежується дугою AB_2C_1 , яка може бути апроксимована дугою еліпса.

Площа контакту наконечника сферичної форми з деталлю дорівнює сумі площ напівеліпса AB_2C_1 , сектора округу OAB_1 і параболічного напівсегмента B_1C_1 мінус площа трикутника OB_1D . Після проходження

інструменту по поверхні виникає частинна компенсація деформації на величину $\Delta_{зм.}$ (рис. 3.15в,г).

Контакт інструменту з оброблюваною поверхнею по січенню виникає в напрямку подачі по дузі def ; в напрямку швидкості – по дузі abc . Внаслідок того, що перед вигладжувачем утворюється скупчення пластично деформованого металу, передня напівповерхня вигладжувача навантажено значно більше (контакт по дугам ef та bc) ніж задня напівповерхня (контакт по дугам de та ab). З цієї ж причини, а також внаслідок адгезійної взаємодії між деталлю та інструментом в процесі вигладжування виникає осьова сила P_x і тангенціальна складова сили P_z .

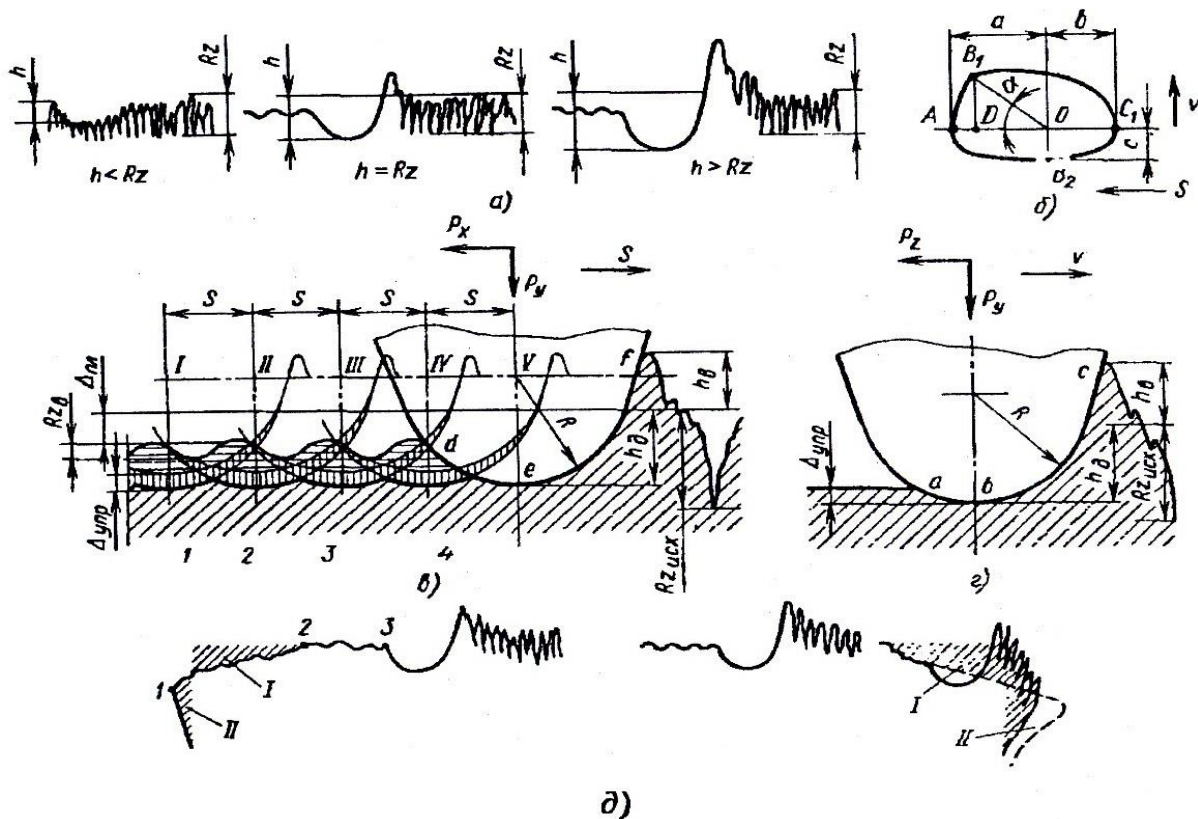


Рис. 3.15 Вигладжування: а) відношення між глибиною канавки та висотою мікронерівностей; б) осередок деформації; в) схема деформування за напрямком подачі; г) схема деформування за напрямком швидкості; д) схема деформування при вході та виході інструменту на кромку деталі

Після кожного оберту оброблюваної деталі канавка (слід вигладжувача) переміщується в осьовому напрямку на відстань, яка рівна

подачі S , виникає багатократне перекриття її при наступних обертах оброблюваної деталі, так як ширина канавки більша подачі.

Внаслідок пластичної деформації оброблюваної поверхні згладжуються вихідні нерівності та утворюється новий мікрорельєф поверхні зі значно меншою висотою нерівностей профілю R_{zB} . Розмір деталі зменшується на величину остаточної деформації $\Delta_{пл.}$.

При обробці деталей, наприклад, з У10 (HRC > 55), та інструментом радіусом 1,5 мм з силами вигладжування 150...400 Н площа контакту 0,025...0,09 мм, а за обробки деталей зі сталі 40Х (HRC 45) з силами 100...300 Н площа контакту становить 0,05...0,170 мм.

Вихідними параметрами, які визначають проходження процесу на кромках деталі, є попередній натяг, який задається до початку вигладжування, та сила вигладжування. В початковий момент вигладжування пластична деформація металу проходить таким чином, що частина металу перед інструментом скупчується у вигляді валка, а частина витискається на край деталі, створюючи невеликий наплив на торці. Наплив збільшується також внаслідок оборотної течії металу за інструментом в сторону торця. На ділянці 1-2 (рис. 3.15д) сила вигладжування поступово стабілізується.

При виході інструменту на кромку деталі вкінці обробки більше значення має валок металу, який переміщається перед інструментом. На деякій відстані від кромки деталі частина цього валка починає виходити на кромку та в результаті цього вигладжувальний наконечник заглиблюється більше, ніж на основній оброблюваній поверхні. Характер подальшого заглиблення наконечника залежить від натягу, пластичних властивостей оброблюваного матеріалу, сили та швидкості вигладжування і т.д. До моменту проходження вигладжувальним наконечником самої кромки натяг зникає. Внаслідок перерозподілу об'ємів металу крайніх ділянок (зона I переміщається в зону II) на торці утворюється наплив

металу. Напливи на виході інструменту в 2...3 рази більші, ніж на вході, і складають для алюмінієвих та кольорових сплавів 10...40 мкм, для сталей середньої твердості 5...10 мкм, для високоміцних матеріалів твердістю від HRC 50 до HRC 60 – не більше 5 мкм.

В більшості випадків при вигладжуванні такі напливи є допустимими та не впливають на експлуатаційні властивості деталей (крім золотникових та плунжерних пар, деяких деталей гідравлічних машин та інших деталей, де навіть мінімальні напливи недопустимі).

Окрім двох основних факторів, що пов'язані з тертям та впливають на формування шорсткості оброблюваної поверхні (молекулярне схоплювання та механічне зчеплення мікронерівностей), діють багато інших: мастильний матеріал, різні проміжні речовини, які утворюють окремий шар, який повторює поверхню контакту, висока температура, яка призводить до інтенсивного окислення поверхонь в зоні тертя і т.д. При цьому вирішальне значення для якості поверхні деталі має шорсткість інструменту

Ефективність вигладжування значною мірою залежить від характеристик матеріалу інструменту – виглажувача. Він повинен мати такі властивості:

- високу твердість;
- високу межу міцності на стиснення;
- чинити опір стиранню;
- низький коефіцієнт тертя по металу;
- великі теплопровідність і теплоємність;
- добру оброблюваність.

Найкраще ці вимоги задовольняє алмаз. Крім нього, вказаними властивостями, але меншою мірою, характеризуються синтетичний корунд (рубін і лейкосапфір), мінералокераміка, тверді сплави та загартовані інструментальні сталі. Алмаз має найкращі фізико-механічні властивості.

Порівняно з іншими матеріалами, він у 6 разів твердіший за тверді сплави, у 10 разів – за інструментальні сталі. Для виготовлення виглажувачів використовують природні та синтетичні алмази. Великі алмази (розміром більше ніж 3 мм) у вигляді полікристалів отримали назву балас і карбонадо.

Конструкції виглажувачів стандартизовані, їх виготовляють у вигляді гладкого циліндра (тип I) або циліндра з головкою (тип II), в торці яких впаяно або закріплено механічно алмазні наконечники. Якість зглажувальної поверхні деталі характеризується геометричними (мікрогеометрія, хвилястість) і фізико-механічними (мікротвердість, мікроструктура, напружений стан) параметрами. Параметрами вигладжування, які впливають на шорсткість є сила вигладжування, подача та радіус робочої частини інструменту. Хвилястість після вигладжування несуттєво зменшується, а мікрогеометрія набуває зовсім іншого характеру: різко зменшується висота мікронерівностей, а самі вони набувають згладженої, заокругленої форми з великим радіусом заокруглення вершин і з великою опорною поверхнею.

Алмазне вигладжування застосовують для підвищення зносостійкості складних різальних інструментів з незначними швидкостями різання, наприклад, протяжок, фасонних різців, розгортки, прокатних валиків та загартованих зубчастих коліс, а також пар хромове покриття - бронза.

При вигладжуванні деталей з малою жорсткістю, особливо з нерівномірною твердістю поверхні, часто виникає вібрація інструменту, внаслідок якої різко погіршується якість оброблюваної поверхні. В цьому випадку необхідно застосовувати не тільки більш жорсткі та точні станки, але і спеціальні вібростійкі пристосування, так як за допомогою вібропоглинаючих прокладок не завжди досягається потрібний ефект.

3.2.5 Ультразвукове зміцнення

Якщо за обробки статичними методами ППД (обкочування кульками або роликами, алмазне вигладжування, поверхнєве дорнування і т.д.) інструменту надають додатково ультразвукові коливання з частотою 18-24 кГц та амплітудою 15-30 мкм, то вони стають ударними методами (ультразвукове обкочування, ультразвукове вигладжування і т.д.) (рис. 3.16а).

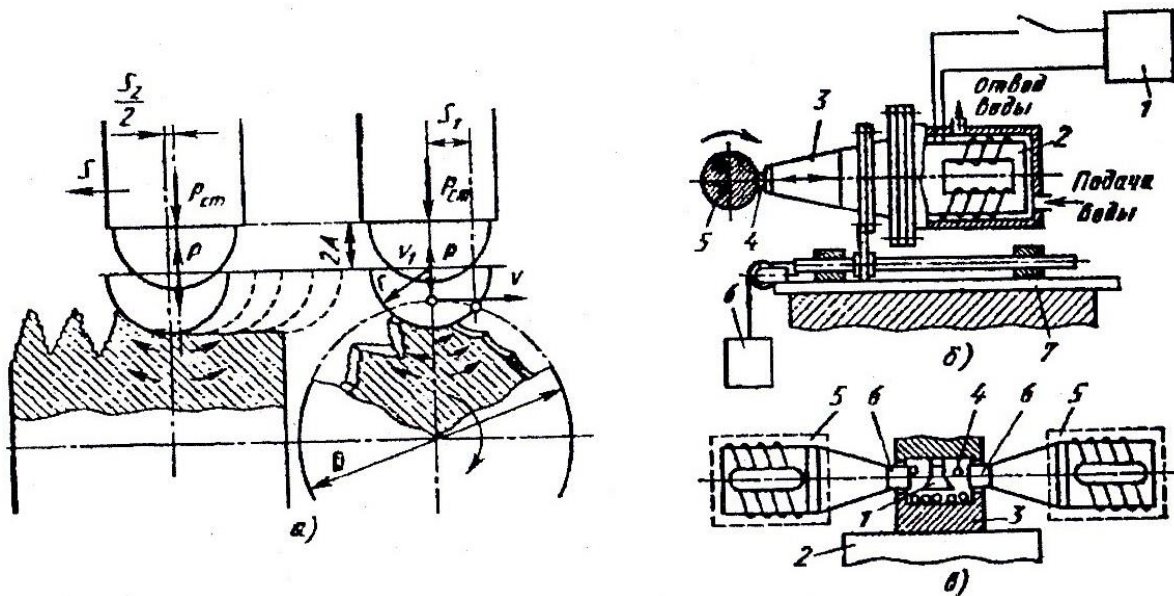


Рис. 3.16 Схема ультразвукового зміцнення: а) характер взаємодії інструменту з оброблюваною поверхнею у напрямку подачі і швидкості (P – ударна сила; $P_{ст}$ – статична сила; A – амплітуда зсуву робочої частини інструменту; r – радіус сфери робочої частини інструменту; S – повздовжня подача; S_1 – відносна подача за один період коливань інструменту; S_2 – повздовжня подача за один період коливань; V – окружна швидкість заготовки; V_1 – коливальна швидкість робочої частини інструменту; D – діаметр оброблюваної деталі); б) схема УЗО зовнішніх циліндричних поверхонь (1 – ультразвуковий генератор; 2 – магнітострикційний перетворювач; 3 – концентратор; 4 – робоча частина ультразвукового інструменту; 5 – оброблювана деталь; 6 – вантаж; 7 – направляючі); в) схема пристрою для ультразвукового зміцнення сталевими кульками (1 – оброблювана деталь; 2 – стіл; 3 – камера; 4 – сталеві кульки; 5 – магнітострикційний перетворювач; 6 – концентратор)

Використовують також ультразвукову обробку і тоді, коли робочим тілам, які знаходяться в замкненому об'ємі разом з оброблюваною деталлю, надають ультразвукових коливань, під дією яких відбувається зміцнення оброблюваної поверхні. Процес (рис. 3.16в) нагадує віброударну обробку. Деталь 1 встановлюють в спеціальну камеру 3, куди поміщають також сталі кульки 4. Ультразвукове поле створюють ультразвуковим перетворювачем 5 і концентратором 6. Зазори між камерою 3 і концентратором 6 вибирають меншими діаметра кульок 4. В зону обробки періодично вприскують невелику кількість рідини. Оптимальні умови обробки вибирають, змінюючи інтенсивність ультразвукового поля, діаметр та кількість кульок.

При звичайному ультразвуковому зміцненні інструмент 4 (рис. 3.16б) під дією статичної і значної ударної сили, створюваною коливальною системою (ультразвуковим генератором 1, магнітострикційним перетворювачем 2 і концентратором 8), пластично деформує поверхневий шар оброблюваної деталі 5. Статичну силу $P_{ст}$ можна прикладати за допомогою пружини або, наприклад, вантажу 6, під дією якого весь пристрій може вільно переміщатись по направляючих 7 і підтискатися до деталі 5.

Порівняно, наприклад, з обкочуванням кульками (ОК) ультразвукова обробка (УЗО) відрізняється наступними особливостями та перевагами:

1. Інструмент пластично деформує поверхневий шар деталі імпульсно, з великою інтенсивністю коливань, в результаті чого деформація супроводжується перервним та інтенсивним тертям.

2. Кратність прикладання сили при деформації інструментом поверхні – 400 разів і більше (при ОК 12-20 разів).

3. Статична сила, що діє на деталь, незначна.

4. Швидкість деформації – змінна, її максимальне значення 200 м/хв і більше, що перевищує швидкість деформування при ОК в десятки і сотні разів.

5. Середній тиск, що створюється в поверхневому шарі деталі під дією нормально направленої сили, в 3-9 разів більший, ніж при обкачуванні кулькою.

6. Енергія, що витрачається на спотворення кристалічної решітки і яка йде на внутрішні мікроструктурні перетворення, при УЗО значно вища, ніж при ОК.

7. Температура місця контакту інструменту з деталлю в зоні деформації 100...150 °С, що в 3-5 разів менше ніж при ОК. Час нагріву при УЗО дуже малий ($3 \cdot 10^{-5}$ с) і тому не спостерігається зниження зміцнення, що викликається дією високої температури.

8. В процесі УЗО внаслідок відносно великих напружень і багаторазового прикладання навантаження напружено-деформований стан специфічний. Багаторазове ковзання в різних напрямках додатково гальмує дислокації. Густина дислокацій і дисперсність блоків набагато більша, ніж при ОК. В результаті ступінь наклепу підвищується в 1,2...1,5 рази і відповідно збільшується рівень залишкових стискаючих напружень в порівнянні з рівнем цих напружень при ОК.

Проте зміцнення шляхом УЗО не знайшло достатньо широкого застосування внаслідок складності використовуваних пристроїв, необхідності використання ультразвукових генераторів, (які займають значні виробничі площі; великої витрати енергії, необхідності створення систем циркуляції охолоджуючої води і т.д.) Додатковий ефект зміцнення, створюваний завдяки ультразвуковим коливанням, не завжди виправдовує великі додаткові витрати.

Застосування УЗО в порівнянні з ОК може бути ефективним в наступних випадках:

- для деталей з термічно і хіміко-термічно оброблених сталей У10А, У12, ХІ2, Х40, ШХ15, оскільки застосування інших методів, наприклад ОК, не дозволяє отримати значний зміцнювальний ефект;
- для деталей та інструментів з твердих сплавів внаслідок того, що фази, з яких складаються такі сплави (головним чином кобальт), пластично деформуються, при цьому покращуються основні характеристики якості поверхневого шару і значно збільшується стійкість різців;
- для деталей малої і нерівномірної жорсткості, оскільки УЗО характеризується невеликими статичною силою і часом деформації.

Прикладом ефективного застосування УЗО може служити зміцнення попередньо шліфованих робочих поверхонь евольвентного зуба зубчатих коліс зі сталі 45 ($m = 1.5$ мм; $z = 30$). В результаті УЗО з оптимальним режимом ($P_{\text{ст}} = 5$ Н, $2A = 20$ мкм; $S = 0,1$ мм/об; $i = 1$) параметр Ra зменшився з 0,4 мкм до 0,1 мкм; мікротвердість поверхневого шару підвищилася з НВ 208 до НВ 357 (тобто на 71 %) і, відповідно, підвищилася межа контактної витривалості на 10...20 %.

Вибір параметрів ультразвукової обробки. До параметрів режиму ультразвукової обробки відносяться: статична сила $P_{\text{ст}}$, амплітуда A коливань інструменту, радіус його заокруглення r , частота коливань f , ефективна маса інструменту M , повздовжня подача S , число робочих ходів i , швидкість оброблюваної деталі V .

Основні параметри обробки знаходяться в наступних межах: частота ультразвукових коливань $f = 2 \cdot 10^4$ Гц; амплітуда коливань $2A = 10...20$ мкм; статична сила $P_{\text{ст}} = 30...300$ Н; час контакту інструменту з деталлю $\tau = 3 \cdot 10^{-5}$ с; відношення тангенціальної сили до нормальної $P_T/P_N = 0,7$; швидкість коливального руху інструменту $V_1 = 2\pi fA \geq 2...3$ м/с; прискорення $q = (2\pi f)^2 A \geq 24 \cdot 10^4$ м/с²; кратність деформації $N \geq 400$.

Продуктивність УЗО визначається в основному подачею, частотою обертання деталі тощо. Підвищувати її можна різними методами. До певних меж можна підвищувати частоту ультразвукових коливань f (до $2.4 \cdot 10^4$ Гц), а також одночасно S і V .

Величини шорсткості Ra та мікротвердості $H_{\mu max}$ можуть бути отримані за різних поєднань характеристик УЗО. Необхідно враховувати, що оптимальне значення сили $P_{ст}$ повинно бути тим більше, чим більше S , V і r . Тому підвищення продуктивності можна досягти за рахунок збільшення r і $P_{ст}$. При цьому, хоча і зменшується середній тиск в плямі контакту, одночасно збільшується кратність деформації.

Технологічне оснащення і устаткування ультразвукової обробки

Інструментом при УЗО служать сталі загартовані кульки, які встановлюють нерухомо або так, що вони можуть обертатися, а також виглажувачі з надтвердих матеріалів або алмазні виглажувачі (рис. 3.17). Інструмент встановлюють в концентратор, від якого йому передаються ультразвукові коливання.



Рис. 3.17 Загальний вигляд багатобойкових виглажувачів

Інструмент і концентратор – найважливіші елементи коливальної системи. Робоча частина інструменту в процесі експлуатації під дією

ударних і теплових імпульсів зношується. Це погіршує якість поверхневого шару оброблюваних заготовок і знижує продуктивність.

Стійкість інструменту з твердих сплавів (ВК8) у декілька разів більша стійкості інструменту з підшипникової сталі. Зношування робочої частини інструменту з твердого сплаву групи ВК залежить від вмісту в ньому WС і Со, режиму УЗО.

Форма та розміри концентратора визначаються формою та розмірами оброблюваної заготовки. Для ультразвукової обробки зовнішніх поверхонь застосовують прямолінійні концентратори, для внутрішніх поверхонь - криволінійні концентратори. За формою твірної розрізняють східчасті, конічні і експоненціальні концентратори. Довжину і діаметр прямолінійного концентратора експоненціальної форми розраховують за відповідною залежністю. Концентратор виготовляють з вуглецевої або інструментальної сталі, обточують до отримання параметра шорсткості $Ra = 0,8...1,6$ мкм, а потім полірують.

Переваги – мала вага (2кг), портативний і простий для використання ультразвукового генератора (4кг), пезокерамічний ультразвуковий перетворювач з повітряним охолоджувачем, втомлююча міцність зварних швів сталі підвищується на 20-30%, не високе електроспоживання (до 1 кВт).

3.2.6 Віб्रोабразивна обробка

Даний метод обробки ґрунтується на принципі передачі коливальних рухів оброблюваним заготовкам у контейнері з робочим середовищем (наповнювачем, компаундами). Процес супроводжується послідовним нанесенням на поверхню оброблюваної заготовки великої кількості мікроударів частинками робочого середовища при їх взаємних співударах та ковзанні. Таким чином, цей процес проявляється як результат дії на

оброблювану поверхню механічну енергію наповнювача та фізико-хімічних властивостей миючого розчину або електроліту.

Продуктивність та якість поверхонь деталей з використанням віброабразивних методів обробки залежать від схеми завантаження заготовок: без їх закріплення або із закріпленням та вільним чи примусовим рухом; траєкторії переміщення заготовок робочим середовищем – кругової по тороїду, з обертанням по гвинтовій лінії або піднятим їх всередині тороїду на один виток; циклів – одного періодичного або змішаного, періодичного та безперервної дії.

Віброабразивна обробка (рис. 3.18) за фізичним змістом близька до обробки в обертових барабанах, але внаслідок вібрації оброблюване середовище стає текучим і заповнює порожнини та отвір, що дає змогу оброблювати заготовки з внутрішніми порожнинами і зменшувати їх руйнування.

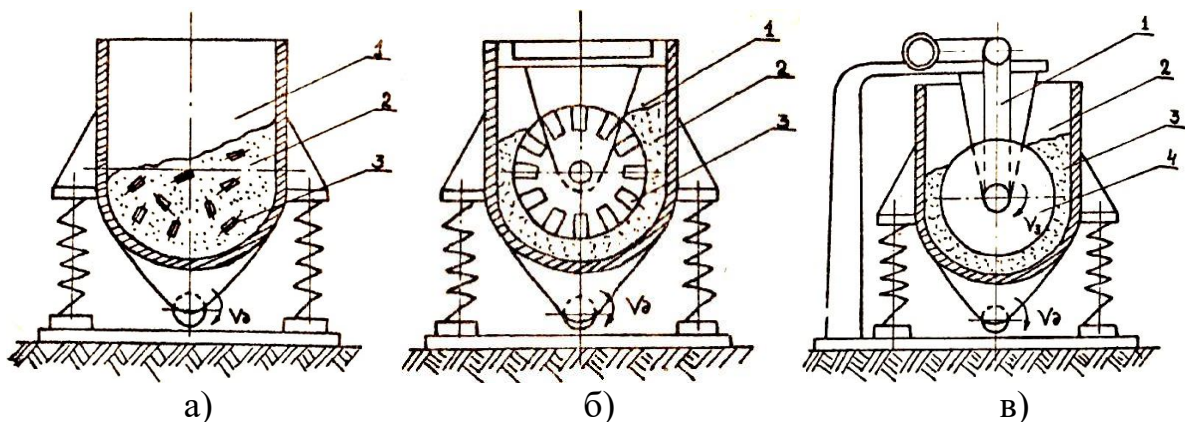


Рис. 3.18 Схема відроабразивної обробки без закріплення заготовок (а), із закріпленням і вільним обертанням заготовок (б) та із закріпленням і примусовим обертанням заготовок (в): 1 – камера V-подібного контейнера, 2 – абразивний наповнювач, 3 – оброблювана заготовка, V_d – частота обертання вала з дисбалансом, V_z – частота обертання заготовки

На практиці використання відроабразивної обробки найбільш поширені вібромашини з торовим (рис. 3.19а) або гвинтовим контейнером.

Відцентрово-планерна обробка відбувається під дією кількох робочих камер, що здійснюють одночасно планетарний обертових рух, заповнених у відповідному співвідношенні оброблюваними заготовками та компаундами. При цьому відносне переміщення заготовок і робочого середовища відбувається під дією відцентрових сил, які значно перевищують силу ваги. У цьому випадку зношування і міцність наповнювача лімітують подальше збільшення відцентрових сил, що значно перевищує силу тяжіння. Злом металу в одиницю часу при відцентрово-планетарній обробці значно вищий, ніж при вібраційній.

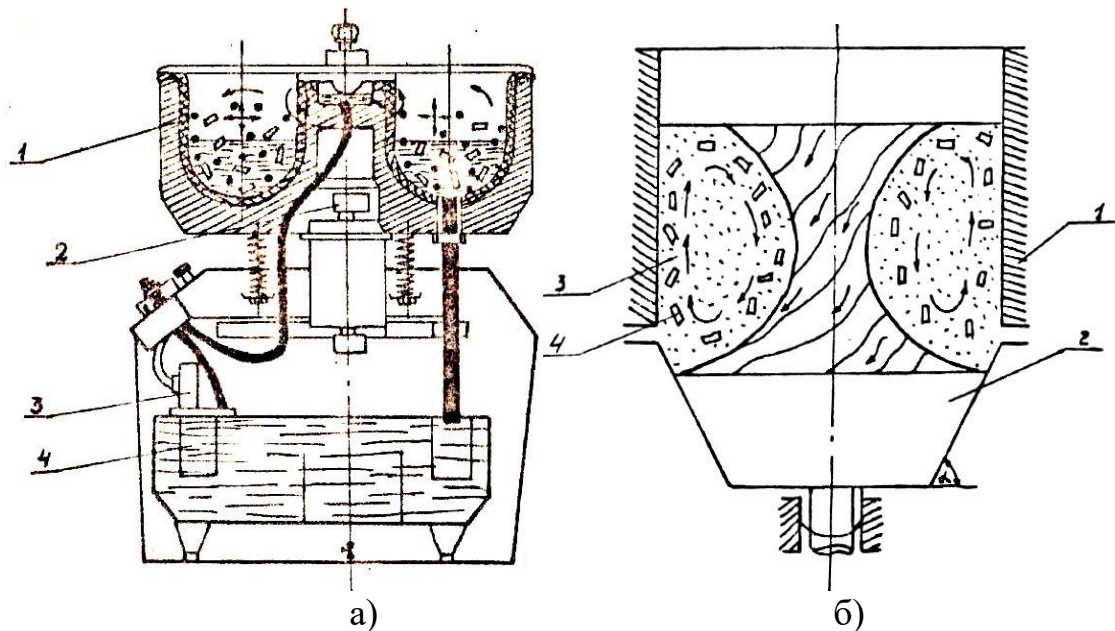


Рис. 3.19 Схема вібраційної установки (а): 1 – тороїдальний контейнер, 2 – вібратор, 3 – нанос, 4 – бак з миючим розчином та схема відцентрово-ротаційної установки (б): 1 – нерухома обичайка, 2 – ротор, 3 – наповнювач, 4 – оброблювані вироби

Для підвищення продуктивності обробки в середовищі наповнювача і компаунда, за рахунок збільшення відносних швидкостей та питомих тисків у потоці оброблюваного середовища, використовується відцентрово-ротаційна обробка (рис. 3.19б). Сутність цього методу обробки полягає в тому, що абразивний наповнювач і оброблювані заготовки приводяться в обертальний рух навкруги вертикальної вісі, а вся

маса завантаження форми тора, в якому окремі компоненти рухаються по спіральній траєкторії. Тороїдально-гвинтовий потік забезпечується конструкцією робочої камери, яка складається з нерухомої обичайки 1 і обертового барабана, що примикає до неї і має форму тарілки 2. При цьому способі обробки оброблювальне середовище 3 та оброблювані заготовки 4 завантажуються в робочу камеру, яка утворюється нерухомою обичайкою 1 та обертовим ротором 2. При обертанні ротора вся маса завантаження втягується в складний тороїдально-гвинтовий рух, у процесі якого відбувається відносне переміщення та взаємодія гранул наповнювача й заготовок, що зумовлюють процес обробки.

Крім цього, вісесиметричний характер потоку та його висока щільність забезпечують постійну взаємодію гранул наповнювача з оброблюваними заготовками в усьому об'ємі завантаження.

На продуктивність і якість відцентрово-планетарної обробки впливають дві групи факторів:

- змінні параметри режиму обробки (кутова швидкість обертання дна і стінок, заповнення робочої камери, грануляція наповнювача, об'ємне співвідношення оброблюваних заготовок і наповнювача, маса заготовок);
- геометрія елементів робочої камери – нерухомої обичайки та обертового ротора.

Продуктивність при цьому методі обробки підвищується також за рахунок зменшення допоміжного часу на завантаження й вивантаження порівняно з іншими методами обробки.

3.2.7 Методи очисної та зачисної обробки

Зачисна та очисна обробка деталей і заготовок використовується для полірування, шліфування, зміцнення та підготовки поверхонь для покриття, зачистки та очистки.

Залежно від схеми обробки, виду інструменту та робочого середовища зачисну та очисну обробку класифікують на групи. Основним критерієм об'єднання різних методів є вид фізико-хімічного впливу на заготовки під час обробки. Так, у групі механічних методів основним є механічний вплив на заготовки металевих та неметалевих твердих тіл (інструментів), у групі хіміко-механічних методів – одночасний механічний вплив твердих тіл (інструментів) і хімічного – робочого середовища (рідини), а в групі хімічних методів – хімічний вплив хімічно-активного рідинного середовища.

До групи електрохімічних методів характерним є вплив рідинного середовища (електроліту) та електричного струму, який пропускається через електроліт і матеріал деталі, а в групі фізичних методів – фізичний вплив на деталі електрогідравлічних ударів, ультразвукових хвиль, електричних розрядів.

Очистка – це процес видалення та виведення з поверхонь заготовок після механічної обробки різанням – стружки, абразивного порошку, мастил емульсії; після холодної та гарячої обробки тиском – окалини, пригару, графіту, продуктів зі смоли; після лиття – формувальної суміші, ливникової системи, стержнів, окалини, оксидних плівок та пригарів; після зварювання та пайки – окалини, зварювального шлаку, залишків обмазок і флюсів; після термічної обробки – окалини, оксидних плівок, сажі, коксу, продуктів зі смоли та пригару; після складальних операцій – механічних часток, мастил, емульсій. Класифікацію основних методів очистки приведено в [додатку 2.8](#).

Останніми роками процесам очистки заготовок і деталей приділяється більше уваги. Це пов'язано перш за все з відставанням рівня технологічних процесів очистки відносно виробництва заготовок, а також із відсутністю виробництва досконалих зразків машин і установок, які забезпечували б

повною мірою якісні показники оброблюваних поверхонь, механізацію ручної праці та належні умови виробництва.

Очистка та зачистка заготовок дробом

Метод очистки та зачистки заготовок дробом дією на оброблювану поверхню належать до ударних методів і відомий давно. Для зняття пригорілого піску на відливках, очистки, зачистки та зміцнення поверхонь заготовок застосовують металевий дріб.

Залежно від способу подачі матеріалу дробу методи очистки та зачистки дробом можна поділити на такі:

- дробоструминна обробка, коли дріб подається стиснутим повітрям;
- дробоструминна обробка з використанням водяного потоку, коли дріб подається водою під тиском;
- дробометальна обробка, коли дріб подається за рахунок механічного прискорення за допомогою металевих головок.

Дробоструминна обробка з використанням для подачі дробу повітря нині застосовується дуже рідко – в основному для очистки великогабаритних відливок.

Для очистки, зачистки та різання різних матеріалів розроблено і впроваджується на промислових підприємствах нові прогресивні технології, де як інструмент використовується струмінь води. Процес різання (очистки) здійснюється за рахунок взаємодії високошвидкісного струменя води з матеріалом і має ударний характер.

Процес різання та очистки матеріалів струменем води має такі особливості: можливість розрізувати по прямих і кривих лініях з малою шириною, відсутність контакту сопла з деталями, відсутність виділення теплом, незначні відходи матеріалів, висока точність розмірів та відсутність деформації, можливість автоматизації процесу за рахунок

використання копіювальних систем з ЧПК, відсутність пилу, вібрацій, низький рівень шуму.

Використовуючи кінетичну енергію струменя рідини під великим тиском, можна здійснювати очистку та зачистку різних зовнішніх і внутрішніх поверхонь заготовок. Схему гідроструминної очистки заготовок приведено на [рис. 3.20](#).

Процес очистки матеріалів високонапірним струменем полягає в тому, що в зоні дії високого тиску рідини з поверхневого шару матеріалу відокремлюються найдрібніші частки. Це складний гідромеханічний процес руйнування матеріалу за рахунок відриву, сколу або зсуву окремих його часток та елементів. При очистці відливків струмінь рідини діє на оброблювану поверхню зі швидкістю 150 м/с і тиском 12...80 МПа.

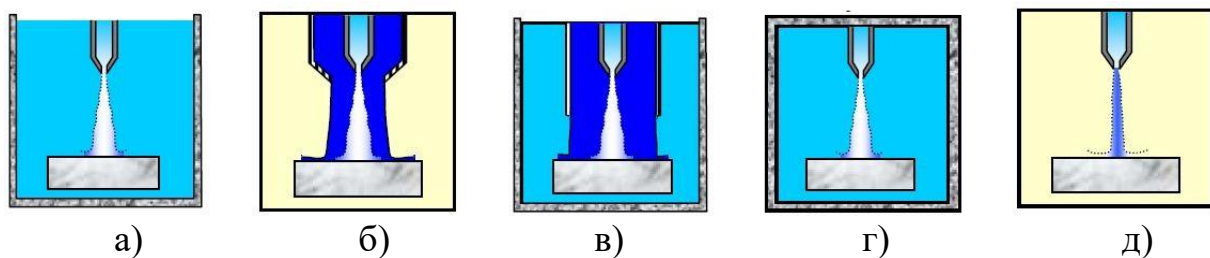


Рис. 3.20 Схеми гідроструминної обробки з використанням водяного (а,в,г) та повітряного потоку (б,д)

Струминно-абразивна обробка (CAO) – ефективний метод для очистки поверхонь від накипу, окалини, пригару, корозії, зняття задирок, закруглення гострих ребер, а також для підготовки поверхонь під покриття, склеювання, паяння деталей, що мають порожнини, кармани, виїмки. CAO широко використовується для оздоблювально-зміцнювальної обробки та надання товарного вигляду деталям.

Сутність процесу CAO полягає у використанні ефекту удару часток абразивного матеріалу об оброблювану поверхню заготовки за допомогою енергії стиснутого повітря.

Частки абразивного матеріалу розпилюються соплом і розганяються до швидкості 100...200 м/с. Продуктивність САО та якість оброблюваної поверхні залежить від тиску повітря, виду і зернистості абразивного матеріалу, концентрації та складових суміші, кута нахилу струменя, довжини струменя і часу обробки. Кінетична енергія часток залежить від тиску повітря, максимальне значення якого досягає 0,6 МПа. Енергія часток залежить від її швидкості.

Для шліфування та розпилення контактного високо напірного струменя з абразивною сумішшю застосовуються різні струминні апарати. Установки для САО у вигляді камер одиноких, карусельного типу та прохідних (для САО деталей великої довжини). До струминного апарату суміш можна подавати насосом, самопливом, ежекцією повітря або пари.

Таким чином, поверхнева фінішна обробка виробів твердими частками введеними в рідину або газ в порівнянні з іншими методами обробки відрізняється простотою схеми, практично відсутнім тепловиділенням та можливістю очистки поверхонь від забруднень, оксидних плівок, лакофарбових покриттів, в тому числі і в важкодоступних місцях. Незважаючи на відносну простоту піскоструминного, гідроструминного та гідроабразивного методів очистки поверхонь виробів, головними недоліками їх використання є висока енерго- та матеріалозатратність, необхідність використання обладнання з високими тисками, значні витрати води та абразивних порошків.

Енергетичні властивості потоку струменя із рідини, твердих часток і повітря можна збільшити шляхом переведення рідини у високоенергетичний стан-аерозоль і надання їй надзвукової швидкості та обертового руху. Дрібні краплі з твердими частками мінералів або абразивів, рухаючись з великою швидкістю повітряного потоку, при співударі з оброблюваною поверхнею, за рахунок гашення кінетичної енергії, сприяють твердим часткам здійснювати процес мікрорізання та

деформування мікровиступів, стиснуте повітря здувати а рідинні складові змивати відділені частки та забруднення.

Продуктивність аерозольних трьохкомпонентного потоку залежить від багатьох факторів, головними з яких є швидкість, напрямок потоку та розміри аерозолі, властивості твердих часток із природних мінералів та абразивів, а також співвідношення твердих часток та рідини, суспензії і повітря та їх витрат.

Встановлено, що дуже великі частки аерозолі гальмують рух абразивних часток до оброблювальної поверхні за рахунок їх занурення в каплі рідини. Такий аерозольний газодинамічний потік при співударі з оброблюваною поверхнею спочатку контактує частками рідини, а потім твердими частками абразиву, що призводить до зменшення продуктивності обробки.

Використання дуже малих часток аерозолі приводить до витрат аерозолі на змочування сухих абразивних часток. При такому співвідношенні розмірів абразивних і аерозольних часток ефективність газодинамічного потоку також низька.

Необхідний діаметр часток аерозолі можна отримати за рахунок розпилювання струменя, яке засноване на формуванні капілярних хвиль в плівці рідини, яка подається на кінчик форсунки, що коливається з ультразвуковою частотою. Ультразвукове розпилювання дозволяє отримувати діаметр капель значно менше чим діаметр струменя.

Враховуючи вищенаведене та аналіз факторів, які впливають на процеси формування аерозольного потоку та його взаємодії з оброблюваною поверхнею запропоновано спосіб поверхневої фінішної обробки виробів надзвуковим аерозольним потоком створеним ультразвуковим розпилюванням суспензії із рідини твердих часток у певному співвідношенні і обертовим рухом стиснутого повітря (рис. 3.21).

В запропонованому способі в сопло Лаваля по співвісних циліндричних каналах подають в необхідному масовому співвідношенні струмінь стиснутого повітря, який обертається навколо осі сопла, і потік гідроабразивної суміші, а утворену ними аерозольну суспензію направляють на оброблювану поверхню деталі. Дисперсність аерозольного потоку регулюють частотою поздовжніх ультразвукових коливань, а швидкість обертowego руху навколо осі сопла регулюють втиснутим повітрям.

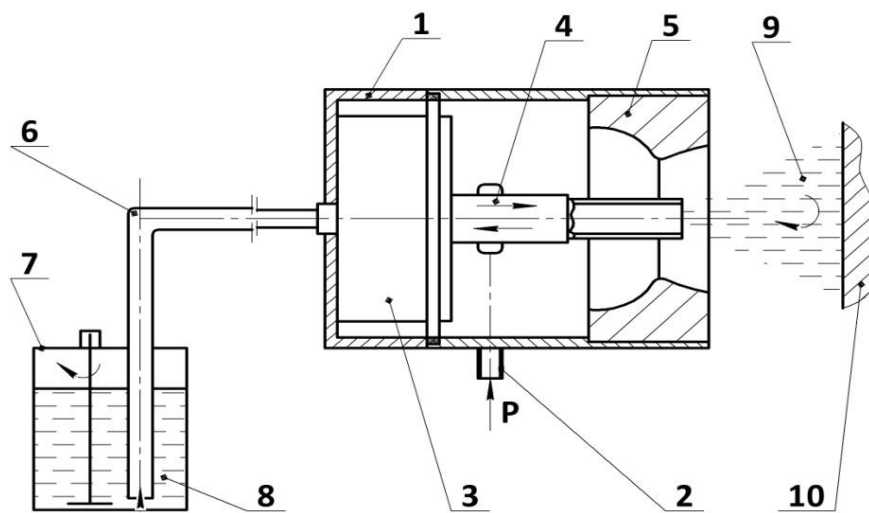


Рис. 3.21 Схема способу фінішної обробки виробів аерозольним потоком:
 1 – корпус, 2 – патрубок, 3 – ультразвуковий генератор, 4 – форсунка,
 5 – сопло, 6 – шланг, 7 – бак, 8 – рідина, 9 – аерозольний факел,
 10 – оброблювана поверхня

Наступним фактором який використаний в даному способі для збільшення енергетичних властивостей аерозольного факела є приведення його в обертовий рух. Обертовий рух стиснутого повітря перед його надходження в сопло забезпечує, при інших вище наведених умовах, збільшення кінетичної енергії твердих часток та рівномірність їх розподілу в аерозольному факелі, що прискорює процес обробки за рахунок дії дотичних складових в зоні деформації. Дані фактори сприяють зростанню продуктивності та якості фінішної обробки.

Важливим фактором від якого залежить шорсткість оброблюваної поверхні є природа та розмір твердих часток в аерозолі. Результатами лабораторних досліджень та пілотних випробувань встановлена можливість використання в якості твердих часток визначеного розміру пісок, глину, а також абразивні зерна електрокорунду та карборунду. Витрати рідинної складової та твердих часток суміші регулюються в даному способі зміною відстані між торцем форсунки і вихідним перетином сопла Лавалю. На запропонований спосіб розроблено дослідний зразок установки та проведені пілотні випробування.

Магнітно-абразивна очисна та зачисна обробка

Магнітно-абразивна обробка (МАО) та магнітно-абразивне полірування (МАП) – перспективні та продуктивні очисні та зачисні методи обробки.

Можливість використання магнітного поля для абразивної обробки запропоновано в 1938 році. На початку 1960 років розпочалося впровадження технології МАО у виробництво. Тоді розроблено технології МАО та МАП, які дають змогу знизити в 3-5 разів об'єм ручної праці на цих операціях та дістати поверхні деталей високого ступеня жорсткості. Слід, також відзначити, що використання технологій МАО та МАП сприятливо відобразилося на експлуатаційних якостях поверхневого шару виробів.

Використання МАО та МАП, крім значного поліпшення техніко-економічних показників, дає змогу розв'язати соціальні, екологічні та санітарно-профілактичні проблеми за рахунок ліквідації монотонної ручної праці і технологічних операцій, які пов'язані з абразивним пилом і забрудненням навколишнього середовища, а також підвищення загальної культури виробництва.

Сутність магнітно-абразивної обробки полягає у використанні магнітного поля для формування із магнітно-абразивних порошків

абразивного інструменту, зерна якого орієнтується своїми найбільшими осями до оброблюваної поверхні.

Процес МАО здійснюється внаслідок двох відносних рухів заготовки та інструменту – різання та подачі. Для здійснення МАП, крім цих рухів, заготовкам а бо елементам порошку передається зворотно-поступальний (осциляторний) рух. Схему обробки деталі в магнітному полі з використанням магнітно-абразивного порошку зображено на [рис. 3.22](#).

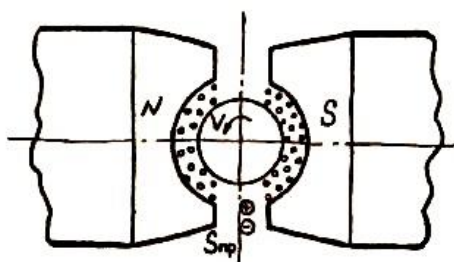


Рис. 3.22 Схема обробки циліндричної заготовки в магнітному полі

Вибираючи схема МАО, треба враховувати форму оброблюваних поверхонь деталей, відносні рухи, конструктивні особливості застосованого обладнання, функціональне призначення енергії магнітного поля.

В [таблиці 3.3](#) приведені величини квалітету точності деталі та параметри шорсткості поверхні при використанні різних методах поверхневої обробки.

Таблиця 3.3 Величини квалітету точності та параметру шорсткості Ra

Методи обробки заготовок	Квалітет точності деталі	Параметри шорсткості поверхні, Ra
Точіння	7-14	0,4-50
Свердління	9-13	1,6-25
Розвертування	5-11	0,1-12,5
Шліфування	5-9	0,1-6,3
Хонінгування і	7	0,1-1,6

суперфініш	5-6	0,02-0,16
Доводка и притирка	3-5	0,04-1,6
Електроерозійна обробка	6-11	0,1-25
Лазерна обробка	10-11	0,32-2,5
Електронно-променева обробка	9-10	0,8-3,2
Ультразвукова обробка	6-10	0,02-1,6
Електрохімічна обробка	9-11	0,4-3,2
Електрохімічне полірування	6-9	0,02-0,4

3.3 Основні поняття нанотехнології

З самого початку виникнення виробництва предметів, які використовуються людиною, метровий розмір був вирішальним. Це відноситься до більшості механічних пристроїв, які знаходяться навколо нас і в цей час, розпочинаючи з сучасних автомобілів і закінчуючи найновішими конструкціями стерео систем, які використовуються.

Мініатюризація механізмів була завжди мрією винахідників. Розмір механічних деталей визначався по-перше, матеріалом, із якого вони виготовлені, і, по-друге, можливостями машин і механізмів за допомогою яких ці деталі були виготовлені. Ці обмеження, як показує історія, можуть бути подолані лише з великими труднощами і витратами, і тільки тоді, коли це становиться цілковито необхідним, як це було у випадку з виготовленням наручних годинників. Досягнути при цьому мініатюризацію механічних процесів можна рахувати межею для метрової промислової технології.

Перехід до широкомасштабної міліметрової технології відбувся в середині XX ст. і був обумовлений виникненням промислової електроніки. Прикладом досягнення міліметрової технології явилась вакуумна машина. Наступні зменшення розмірів технологічного простору в 1000 разів призвело до виникнення твердотільної мікротехнології. Її створення і розвиток в другій половині XX ст. дало основу різного прогресу

обчислювальної техніки. Виникла технологія розміщення мільйонів твердо-
тільних транзисторів в інтегральній схемі площею 1см^2 . Кристали кремнія
явилися основою інтегральних мікросхем.

Незважаючи на значний успіх мікротехнології і практично повну
відмінність від метрової технології, ці промислові схеми об'єднують
спільність класичних законів, таких, наприклад як закон Ома, який
однаково справедливий як для побутового електронагрівача, так і для
інтегральної мікросхеми. Таким чином, всі технології від метрової до
мікрометра – можуть бути об'єднані одним словом – класичні.

Класичні представлення про закономірності природи порушуються
при розмірах, які склалися десяти долі мікрометра. За цією границею
розпочинається теорія, яка підпорядкована квантовим законам, в яких
проявляє себе хвильова природа електрона і інших мікрочасток,
що відбудеться, коли мікронний розмір буде зменшено у 1000 разів.
Перша відповідь: в даній області не працюють закони класичних
технологій. Друга відповідь: відбувається перехід від суцільних речовин
класичних технологій до атомно-структурних речовин квантової
нанотехнології. По третє: людство вступає в таку «виробничу» область, в
якій зникає межа між живою і не живою природою.

Нанотехнологія забезпечуючи можливість маніпуляції окремими
молекулами і атомами речовини і створення наноструктурних матеріалів,
унікальна область науки і техніки. До таких швидких чинників розвитку
нанотехнологія прийшла після більш чим піввікових інтенсивних
досліджень.

В 1928 році співробітник Ленінградського (в той час) технологічного
інституту Г.А. Гамов досліджуючи будову атомного ядра та явища
радіоактивності, розробив основи теорії тунельного переносу заряду.
Це явище було використано пізніше в скануючому тунельному
мікроскопі. В 1931 році німецькі фізики Макс Кнол і Ернст Руска створили

прототип електронного мікроскопа, а в 1939 році компанія Siemens випустила перший електронний мікроскоп з властивістю 10 нм.

1959 рік – є роком народження нанотехнології, коли професор Каліфорнівського технологічного інституту Рігарт Фейнман (нобелівський лауреат 1965 році) в своїй лекції перед американськими фізиками виклав принципову можливість використання атомів в якості будівельних часток для створення нових матеріалів і пристроїв.

В методах розрахунків і аналізу характеристик наносистем однією з головних є проблема масштабування, яка повинна розглядатися з трьох різних вимірах (рис. 3.23).

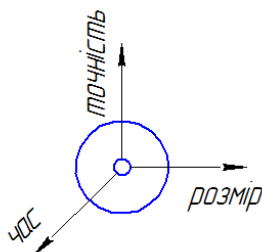


Рис. 3.23 Схема масштабування

Вісь «розмір» представляє діапазон змін масштабу, зокрема від розміру атому в ангстремах (А) до розміру наночасток (рис. 3.24).

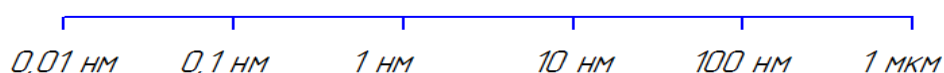


Рис. 3.24 Масштаб розміру

Вісь «час» відповідає динамічному (часовому) вимірювання масштабу (рис. 3.25).

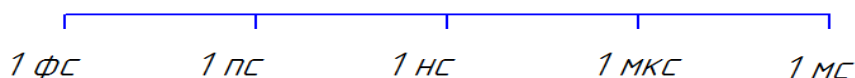


Рис. 3.25 Масштаб часу

Хоча вимірювання масштабу по вісі «час» є лінійним, сам діапазон вимірювань дуже широкий, тому що час досліджуваних процесів змінюються на 15 порядків величини, від однієї ($\Phi_c 10^{-15}$ с) фемтосекунди до однієї секунди. По вісі «точність» показані відповідні зміни точності розрахунків та вимірювання. Підвищення точності розрахунків є необхідною умовою як для розробки принципів конструктивних матеріалів і розуміння сутності протікаючі явищ, так і для скорочення числа складних та дорогих металів.

В мікрوماштабі хімічні і фізичні властивості матеріалів не залежать від розміру. Проте при досягненні наномасштабу, наприклад шляхом дроблення або розрізання, все змінюється, включаючи колір матеріалу, точку плавлення і хімічні властивості наприклад: температура плавлення кластерів золота становиться такою ж як і у об'ємного золота при розмірах кластера більше 1000 атомів. Розміри кластера при яких відбувається перехід до поведінки об'ємного матеріалу залежать від змін властивості або характеристики.

Підхід зверху-вниз заснований на зменшенні розмірів фізичних тіл механічною або фізико-технічною обробкою для отримання об'єктів з ультрамікроскопічними, нанометровими параметрами. Приклад – структури деяких напівпровідникових приладів створюються фотолітографічною обробкою. Напівпровідникова заготовка в цьому методі піддається обробці лазерними променем, що дозволяє отримувати в ній раніше сплановану конфігурацію схеми. Мінімальний розмір елементів виготовлення визначається при цьому довжиною хвилі лазерного випромінювання. В цей час самі короткі довжини випромінювання дозволяють здійснювати мікрообробку.

Поняття нанотехнологія напряду зв'язано з якісним рівнем розвитку виробництва машин, при чому обробка різанням у виробництві машин займає більше 90% працеемності розмірної обробки.

Особливо актуальна використання нанотехнології у виробництві дуже точних деталей машин, таких як деталі металевих дзеркал лазерної техніки. Вони повинні мати високу відбивну властивість, наприклад для дзеркал з міді – більше 90%, а параметр $Ra = 5-3$ нм. Робочі підкладки електронних приладів, деталі електронної оптики, гіроскопів повинні мати нанометричні розміри шорсткості, тому використання нанотехнології поверхневої обробки, що забезпечують необхідні параметри поверхневого шару деталей, є актуальними для машинобудування.

Для встановлення взаємозв'язків в якості геометричних параметрів були вибрані хвилястість та шорсткість з фактором шорсткості F , а параметрами фізико-хімічного стану поверхні прийняті: структура, фазовий стан, хімічний склад фаз і товщина неметалевої плівки (рис. 3.26).

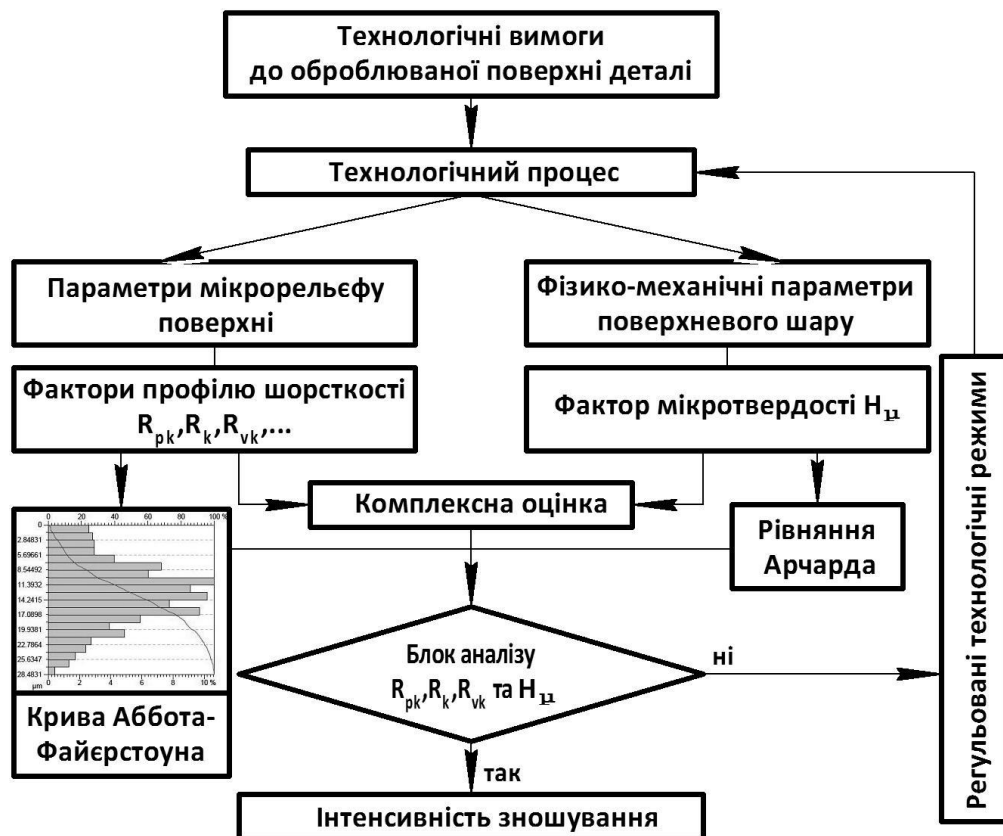


Рис. 3.26 Схема встановлення взаємозв'язку між експлуатаційними характеристиками і технологічними параметрами процесу

Інтегральними параметрами неузгодження вибрані:

- 1) Для геометричних характеристик – фактор шорсткості F .

2) Для фізико-хімічних – ϕ величина роботи виходу електрону (PBE), який враховує не тільки висоту шорсткості і мікрошорсткості, а й поверхню впадин виступів шорсткості. На практиці цей фактор визначається із профілограф та електронних знімків. Аналіз значень факторів шорсткості на поверхнях деталей після різної обробки показав, що при висоті шорсткості Ra менше 0,1 мкм її величина практично дорівнює 1. Тому його можна використовувати як інтегральний параметр при отриманні висоти шорсткості не менше 0,1 мкм.

При зменшенні висоти шорсткості менше 0,1 мкм інтегральним параметром неузгодженості прийнята величина (PBE) – роботу виходу електрону, яка на практиці вимірюється через величину контактної різниці контактної різниці потенціалів.

По попередньо встановленими залежностями між експлуатаційними характеристиками, наприклад віддзеркалюючою властивістю і величиною PBE, можна оцінити віддзеркалюючу властивість на будь-якому технологічному переході при обробці. Зокрема, для мідних і позолочених дзеркал встановлена кореляція між віддзеркалюючою властивістю поверхні і роботою виходу електрона (КРП), яка дозволяє контролювати процес їх виготовлення.

Особливістю нанообробки є те, що її технологічний процес може включати операції різних процесів (різання, електронної і електрохімічної обробки).

Для отримання покриттів багат шарових із використанням композицій систем титан/залізо, титан/магній та однорідного нікелевого сплаву СДП-2 вакуумно-дугове осадження на модернізованій вакуумно-дуговій установці «Булат-3Т» (рис. 3.27).

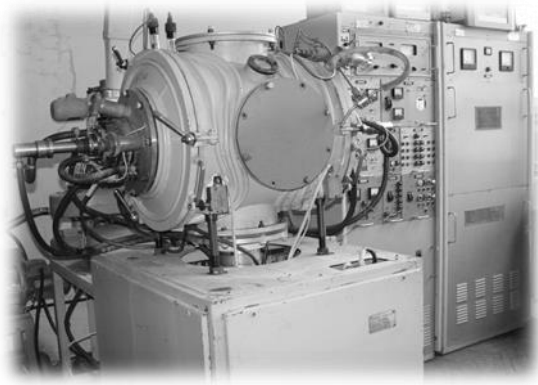
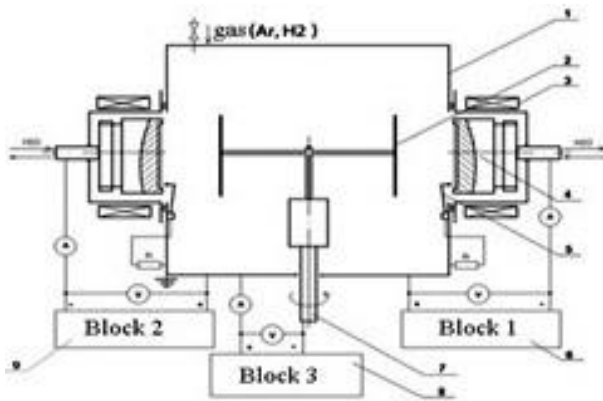


Рис. 3.27 Схема та загальний вигляд робочої камери установки:
1 – вакуумна камера; 2 – підкладка; 3 – стабілізуюча котушка; 4 – катод торцевого типу; 5 - підпалювач дуги; 6 – джерело живлення дугового розряду; 7 – механізм обертання підкладок; 8 – джерело негативного потенціалу, що подається на підкладки

3.4 Основні запитання

1. Які методи відносять до фізико-термічних?
2. Для яких операцій використовують лазерну обробку?
3. Що відбувається з матеріалом при використанні плазмової обробки?
4. Назвіть переваги та недоліки зміцнення деталей лазерною обробкою.
5. Які процеси відбувають при лазерній обробці деталей?
6. Для чого використовують поєднання лазерної обробки з поверхневим пластичним деформуванням?
7. Для обробки яких матеріалів використовують плазмову обробку?
8. Які операції включає технологічний процес плазмового зміцнення деталей?
9. До яких методів відноситься електроконтактне зміцнення ?
10. Вкажіть на переваги та недоліки електроконтактного зміцнення матеріалів.
11. З якою метою використовують ультразвукову обробку деталей?
12. Який процес називають наплавленням?

13. Для чого використовують методи наплавлення?
14. Що таке поверхнєве пластичне деформування?
15. В чому полягає різниця між статичними та динамічними способами зміцнення?
16. Які способи зміцнення відносять до статичних та динамічних?
17. Які Ви знаєте види деформування?
18. В чому полягає суть виглажування?
19. Який матеріал використовують для виготовлення виглажувачів?
20. Для обробки яких деталей застосовують обкатування і розкатування?
21. В чому полягає суть віброобкатування?
22. Які параметри характеризують динамічні способи зміцнення деталей?
23. Назвіть основні переваги та недоліки динамічних способів зміцнення деталей.
24. З якою метою застосовують віброабразивну обробку?
25. Опишіть віброабразивний метод очистки деталей.
26. Які ви знаєте схеми віброобробки деталей із закріпленням в контейнері?
27. В чому сутність методів обробки деталей дробом?
28. В чому сутність відцентрової обробки?
29. Які переваги та недоліки ультразвукової обробки?
30. Які використовують інструменти для ультразвукової обробки?
31. В чому особливість абразивної ультразвукової обробки?
32. Які параметри характеризують ультразвукову обробку?
33. Назвіть основні методи обробки матеріалів комбінованими джерелами енергії?
34. З якою метою проводиться лазерна термодіформаційна обробка матеріалів?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стандарт вищої освіти НТУУ «КПІ». Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти ступінь бакалавр. Галузь знань 13. Механічна інженерія. Спеціальність 131 Прикладна механіка / Затв.: ректор НТУУ «КПІ» М.З. Згуровський. Розроб. Стандарту: голова науково-методичної комісії зі спеціальності Бобир М.І. Члени комісії: Бабенко А.Є., Данильченко Ю.М., Боронко О.О., 2016 р. – 16 с.
2. Головка Л. Ф. Лазерні технології та комп'ютерне моделювання / Під ред. Л. Ф. Головка, С. О. Лук'яненка. – К. : Вістка, 2009. – 296 с.
3. Коваленко, В.С., Головка, Л.Ф., Черненко, В.С., Упрочнение и легирование деталей машин лучом лазера, Техника, Киев, 1990, – 192 с.
4. Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н., Мисюров А. И. Технологические процессы лазерной обработки. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2006. – 664 с.
5. Посвятенко Е.К., Дяченко С.С., Гончаров В.Г. та ін. Числове обґрунтування параметрів дискретного зміцнення високонавантажених деталей машин // Вісник НТУУ «ХПІ». Машинознавство та САПР. – 2011. – №11(51) – С. 111-136.
6. Евдокимов В.Д. Технология упрочнения машиностроительных материалов: Учебное пособие-справочник / Евдокимов В.Д., Клименко Л.П., Евдокимова А.Н. / Под редакцией В.Д. Евдокимова. – Одесса, Николаев: Изд-во НГТУ им. Петра Могилы, 2005. – 352 с.
7. Seyffarth P. and Krivtsun I.V. Laser-arc processes and their applications in welding and material treatment // Welding and Allied Processes. – London: Taylor and Francis Books, 2002. Vol. 1. – 200 p.
8. Mordyuk B.N., Prokopenko G.I., Ultrasonic impact treatment – an effective method for nanostructuring the surface layers in metallic materials, In. M.Aliofkhazraei (Ed.), Handbook of mechanical nanostructuring, Wiley-VCH, Weinheim, 2015, pp. 417-434.

9. Гуреев Г. Д., Гуреев Д. М. Совмещение лазерного и ультразвукового воздействия для термообработки поверхности стали // Электрофизические и электромеханические методы обработки. – 2007. – №1(14). – С. 90-95.
10. Джемелінський В. В., Лесик Д. А. Визначення оптимальних параметрів лазерно-ультразвукового зміцнення та оздоблювання поверхонь виробів // Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування. – 2013. – №2 (68). – С. 15-18.
11. Дерябин А.Л., Эстерзон М.А. Технология изготовления деталей на станках с ЧПУ и ГПС Уч. пос. – Машиностроение, 1989. –159 с.
12. Виноградов В.М. Ведение в специальность. Учебное пособие для студентов вузов. М.: Изд. Центр «Академия», 2006. – 176 с.
13. Методичні вказівки з лабораторних і практичних робіт до вивчення дисципліни «Основи професійної діяльності» (навчальне видання) / В.В. Джемелінський, О.Д. Кагляк, Д.А. Лесик / К., НТУУ «КПІ», 2012 – електронний варіант.
14. Нанотехника. 2005. – №1-4.
15. Иванов Ю.И., Малышев К.В., Шалаев В.А. Нанотехнология и микромеханика ч.1.-М. Изд. МГУ им. Баумана, 2003. – 235 с.
16. Пул Ч., Оуэнс Ф. Мир материалов и технологий. Нанотехнологии. – М.: Техносфера, 2004.
17. Poprawe R. Tailored Light 2. Laser Application Technology / R. Poprawe. – Springer-Verlag Berlin: Heidelberg, 2011. – 603 p.
18. Головин Ю.И. Введения в нанотехнологию. – М.: Машиностроение, 2003. – 115 с.
19. Кабаяси Н. Введение в нанотехнологию. – М.: БННОМ лабораторія зданий, 2005.

20. Технологія конструкційних матеріалів: Підручник / М.А. Сологуб, І.О. Рожнецький, О.І. Некоз та ін.; За ред. М.А. Сологуба. – 2-ге вид., перероб. і допов.- К.: Вища шк., 2002. – 374 с.
21. <http://infomirspb.ru/image.pnb?imid=987>
22. Градиський Ю.О., Ачкасов О.М., Підвищення надійності лісових машин шляхом зміцнення деталей енергетичними методами // Вісник ХНТУСГ. – 2016. – №178. – С. 107-111.
23. Lesyk D.A., Martinez S., Dzhemelinskyi V.V., Mordyuk B.N., Lamikiz A., Prokopenko G.I., Surf. Coat. Technol. 278 (2015) P. 108-120.
24. Takakuwa O., Yamamiya K., Soyama H., Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering 7 (2013) P. 357-371.
25. Котляров В. П. Поверхностная отделочно-упрочняющая обработка с лазерным излучением // Электронная обработка материалов. – 1987. – №1. – С. 12-17.
26. Вейко В.П., Смирнов В.Н., Чирков А.М., Шахно Е.А. Лазерная очистка в машиностроении и приборостроении. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 103 с.
27. Романенко В.В., Козырев А.С. Теоретическое моделирование и пути совершенствования процесса газолазерной резки металлических заготовок больших толщин для нужд полиграфических // Технологія і техніка друкарства : зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т". – 2010. – №2. – С. 10-17.
28. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.
29. Grum J. J. Achiev. Mater. Manufacturing Eng. 24 (2007) P. 17-25.
30. Kusinski J. Technical Sciences 60 (2012) P. 710-728.
31. Santhanakrishnan S. ASM International Handbook Committee, 2013. – P. 476-491.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК 1.1 Шорсткість та точність поверхні

при різних видах механічної обробки

Вид обробки	Шорсткість	Квалітет
Різка газова: • ручна; • машинна	80...40 80...12.5	- 17...15
Відрізання: • приводною пилкою; • різцем; • фрезою; • абразивом	50...25* (12.5) 100...25* 50...25* 6.3*...3.2	17...15 17...14 17...14 15...12
Фрезерування циліндричною фрезою: • чорнове; • чистове	50...25 6.3...3.2	14, 12, 11 11, 10
Фрезерування кінцевою фрезою: • чорнове; • чистове	25...1.25 6.3...3.3	14, 12 11
Фрезерування торцевою фрезою: • чорнове; • чистове; • тонке	12.5...6.3 6.3...3.2 6.3...3.2* (1.6)	14-12, 11 11, 10 9, 8, 7
Обточування при повздовжній подачі: • чорнове; • чистове; • тонке (алмазне)	100...25 3.2...1.6* (0.8) 0.8...0.4* (0.2)	17...15 9...7 6...4
Обточування при поперечній подачі: • обдирне; • чистове; • тонке	100...25 3.2* 1.6...0.8	17, 16 13...11 11...8
Свердління отвору діаметром до 15 мм: • по кондуктору; • без кондуктора	- 12.5*(10)...6.3	11 14...12
Свердління отвору діаметром біля 15 мм: • по кондуктору; • без кондуктора	- 12.5* (10)-12.5	11 14-12
Розсвердлювання	12.5*-12.5	14-12
Зенкерування: • чорнове; • чистове	25...12.5 6.3...3.2*	15...12 11, 10
Розточування: • чорнове; • чистове; • тонке (алмазне)	100...50 3.2...1.6* (0.8) 0.8...0.4* (0.2)	17...15 9, 8 7

Розвертування: • попереднє; • остаточне	12.5...6.3 3.2...1.6*	10, 9, 8 7, 8
Протягування	3.2...0.8*	8, 7
Шліфування кругле: • чистове; • тонке	1.6...0.8* 0.4...0.2* (0.1)	8...6 5
Шліфування плоске: • чистове; • тонке	1.6...0.8 0.4...0.2* (0.1)	8...6 7, 6
Обкатування та розкатування роликами або кульками при вихідній $R_a = 12.5...3.2$ мкм	1.6...0.4 (0.32)	9...6
Притирка	1.6...0.1 (0.8)	5
Полірування: • звичайне; • тонке	1.6-0.2 (0.08) 0.1 (0.05)	6 5
Доведення	0.05* (0.02)	5
Хонінгування: • площин; • циліндрів	0.4*...0.1 0.2*...(0.05)	8, 7 7, 6
Суперфінішування: • площин; • циліндрів	0.4...0.2* (0.05) 0.4...0.1* (0.05)	5 і вище 5 і вище

* Позначено середнє значення R_a .

Примітки:

1. Параметри шорсткості наведені для сталі, чавуну, алюмінію та алюмінієвих сплавів – брати по меншому значенню параметра; для сплавів на мідній основі при шліфуванні і доводочних роботах (притирці, поліруванні, хонінгуванні) – брати параметри, зазначені для сталі, а при інших видах обробки – по більшому значенню.

2. У дужках вказані гранично допустимі значення параметра шорсткості R_a .

ДОДАТОК 2.1 Кодові символи

Символ	Значення
A	Кут повороту навколо вісі X
B	Кут повороту навколо вісі Y
C	Кут повороту навколо вісі Z
D	Друга функція інструменту
E	Друга функція подачі
F	Перша функція подачі
G	Підготовча функція
H	Не визначено
I	Параметр інтерполяції або крок різьби паралельно вісі X
J	Параметр інтерполяції або крок різьби паралельно вісі Y
K	Параметр інтерполяції або крок різьби паралельно вісі Z
L	Не визначено
M	Допоміжна функція
N	Номер кадру

O	Не визначено
P	Третинна довжина переміщення, паралельного вісі X
Q	Третинна довжина переміщення, паралельного вісі Y
R	Переміщення на швидкому ході по осі Z або третинна довжина переміщення, паралельного вісі Z
S	Функція головного руху
T	Перша функція інструменту
U	Вторинна довжина переміщення, паралельного вісі X
V	Вторинна довжина переміщення, паралельного вісі Y
W	Вторинна довжина переміщення, паралельного вісі Z
X	Первинна довжина переміщення, паралельного вісі X
Y	Первинна довжина переміщення, паралельного вісі Y
Z	Первинна довжина переміщення, паралельного вісі Z
ГТ	Табуляція
ПС	Кінець кадру
%	Початок програми
(Кругла дужка ліва
)	Кругла дужка права
+	Плюс
-	Мінус
.	Крапка
;	Пропуск кадру
:	Головний кадр

ДОДАТОК 2.2 Підготовчі функції (G-коди)

Позначення	Опис
G00	Лінійна інтерполяція при прискореному переміщенні
G01	Лінійна інтерполяція з швидкістю подачі
G02	Кругова інтерполяція по годинниковій стрілці
G03	Кругова інтерполяція проти годинникової стрілки
G04	Зупинка з витримкою часу (свердління). Точна зупинка
G05	Кругова інтерполяція з виходом на кругову траєкторію по дотичній
G06	Зменшення допустимого рівня прискорення
G07	Відміна зменшення допустимого рівня прискорення
G08	Керування швидкістю подачі в точках перегину
G09	Відміна керування швидкістю подачі в точках перегину
G10	Введення таблиць даних інструменту координатної системи і робочих відступів
G11	Лінійна інтерполяція в полярних координатах
G12	Кругова інтерполяція по годинниковій стрілці в полярних координатах
G13	Кругова інтерполяція проти годинникової стрілки в полярних координатах
G14	Можливість програмувати коефіцієнта підсилення по швидкості
G15	Вихід в полярний режим
G16	Вхід в полярний режим
G17	Вибір площини X_Y
G18	Вибір площини Z_X

G19	Вибір площини Y_Z
G20, 70	Використання дюймів
G21, 71	Використання міліметрів
G22	Активація осей
G23	Програмування умовного переходу
G24	Програмування безумовного переходу
G28	Повернення в початкове положення
G28.1	Калібровка осей
G30	Повернення в початкове положення
G31	Пряме дослідження
G32	Нарізання різьби без компенсуючого патрона
G34	Округлення двох лінійних ділянок
G35	Відміна округлення двох лінійних ділянок
G36	Відновлення параметрів відхилення, які установлені в машинних параметрах
G37	Програмування координат полюса дзеркального відображення
G38	Активація дзеркального відображення, повороту, масштабування
G39	Відміна функції дзеркального відображення
G40	Відміна автоматичної компенсації на радіус інструменту
G41	Компенсація радіуса інструменту
G42	Компенсація радіуса інструменту
G43	Відступ довжини інструменту
G44	Відступ довжини інструменту
G49	Відміна компенсації довжини інструменту
G50, 51	Фактори шкали
G52	Часові відступи системи координат
G53	Відміна зміщення нуля (рух в абсолютних координатах)
G54...G59	Імітація зміщення нуля (вибір робочих відступів координатної системи)
G60	Зміщення контуру в межах координатної системи керуючої програми
G61	Введення режиму керування
G62	Відміна точного позиціонування
G63	Увімкнення 100% від запрограмованого значення швидкості
G64	Введення режиму керування
G65	Прив'язка швидкості подачі до центру фрези
G66	Активація значення швидкості, яка задана потенціометром
G67	Відміна зміщення контуру в координатній системі керуючої програми
G68, 69	Обертання координатної системи
G73	Свердління з високою швидкістю
G74	Вихід в початок координат
G75	Робота з датчиком дотику
G76	Переміщення в точку з абсолютними координатами в системі координат станка
G78	Активація свердлильної осі
G79	Деактивація однієї свердлильної осі або всіх відразу
G80	Відміна роботи стандартних циклів (відміна модального руху)
G81	Цикл свердління і чистового розточування центра отвору
G82	Цикл свердління і чистового розточування
G83	Стандартний цикл глибокого свердління з періодичним виводом свердла із отвору

G84	Цикл нарізання різьби (з компенсуючим патроном (для правого обертання)) мітчиком
G85	Цикл свердління та розсвердлення
G86	Цикл свердління (розточування)
G87	Цикл для оберненого (реверсного) свердління
G88, 89	Цикл свердління (розточування)
G90	Програмування в абсолютних координатах
G91	Програмування в відносних координатах
G92	Зміщення даної системи координат або обмеження максимальної частоти обертання шпинделя
G93	Програмування часу обробки кадру
G94	Програмування подачі в мм/хв
G95	Програмування подачі в мм/об
G96	Функція постійної швидкості різання
G97	Функція постійної частоти обертання шпинделя
G98	Повернення до початкової точки в постійному циклі
G99	Повернення до точки R в постійному циклі

ДОДАТОК 2.3

Програма для фрезерування канавки по прямій і чверті кола за годинниковою (в) (без допоміжних кадрів) (рис. 2.10в):

...;

N05G00X40Y25Z0; (Переміщення фрези із точки O(0.0) в точку A(40.25))

N06G01X40Y55Z-5F100; (Заглиблення фрези по вісі Z = -5 мм в точці A(40.25) при подачі 100 мм/хв.)

N07G01X40Y55Z-5; (Переміщення фрези із точки A(40.25) в точку B(40.55) (100 мм/хв.))

N08G01X80Y55Z-5; (Переміщення фрези із точки B(40.55) в точку B(80.55) (100 мм/хв.))

N09G02X95Y40R15Z-5; (Переміщення фрези із точки B(80.55) в точку Г(95.40) за годинниковою стрілкою, R=25 - радіус дуги (100 мм/хв.))

N10G01X95Y25Z-5; (Переміщення фрези із точки Г(95.40) в точку Д(95.25) (100 мм/хв.))

N11G01X40Y25Z-5; (Переміщення фрези із точки Д(95.25) в точку A(40.25) (100 мм/хв.))

N12G01X40Y25Z3; (Переміщення фрези по вісі $Z = 0$ мм в точці A(40.25), тобто відведення фрези у верх на Z3 (100 мм/хв.))

N13G00X0Y0Z0; (Переміщення фрези із точки A(40.25) в точку O(0.0));

...;

Програма для фрезерування канавки по прямій і чверті кола проти годинникової стрілки (без допоміжних кадрів) (рис. 2.10г):

...;

N05G00X40Y25Z0F100; (Переміщення фрези із точки O(0.0) в точку A(40.25) при подачі 100 мм/хв.);

N06G01X40Y25Z-5; (Заглиблення фрези по вісі $Z = -5$ мм в точці A(40.25) (100 мм/хв.));

N07G01X80Y25Z-5; (Переміщення фрези із точки A(40.25) в точку B(80.25) (100 мм/хв.));

N08G03X95Y40R15Z-5; (Переміщення фрези із точки B(80.25) в точку B(95.40) проти годинникової стрілки, $R=25$ - радіус дуги (100 мм/хв.));

N09G01X95Y55Z-5; (Переміщення фрези із точки B(95.40) в точку Г(95.55) (100 мм/хв.));

N10G01X40Y55Z-5; (Переміщення фрези із точки Г(95.55) в точку Д(40.55) (100 мм/хв.));

N11G01X40Y25Z-5; (Переміщення фрези із точки Д(40.55) в точку A(40.25) (100 мм/хв.));

N12G01X40Y25Z3; (Переміщення фрези по вісі $Z = 0$ мм в точці A(40.25), тобто відведення фрези у верх на Z3 (100 мм/хв.));

N13G00X0Y0Z0; (Переміщення фрези із точки A(40.25) в точку O(0.0));

...;

Програма для фрезерування канавки по прямій і півкола проти годинникової (без допоміжних кадрів) (рис. 2.10д):

...;

N05G00X40Y25Z0; (Переміщення фрези із точки O(0.0) в точку A(40.25));

N06G01X40Y25Z-5F100; (Заглиблення фрези по вісі Z = -5 мм в точці A(40.25) при подачі 100 мм/хв.);

N07G01X80Y25Z-5; (Переміщення фрези із точки A(40.25) в точку B(80.25) (100 мм/хв.));

N08G03Y55R15Z-5; (Переміщення фрези із точки B(80.25) в точку B(80.55) проти годинникової стрілки, R=25 - радіус дуги (100 мм/хв.));

N09G01X40Y55Z-5; (Переміщення фрези із точки B(80.55) в точку Г(40.55) (100 мм/хв.));

N10G01X40Y25Z-5; (Переміщення фрези із точки Г(40.55) в точку A(40.25) (100 мм/хв.));

N11G01X40Y25Z3; (Переміщення фрези по вісі Z = 0 мм в точці A(40.25), тобто відведення фрези у верх на Z3 (100 мм/хв.));

N12G00X0Y0Z0; (Переміщення фрези із точки A(40.25) в точку O(0.0);

...;

ДОДАТОК 2.4

Програма для свердління:

N1G0G17G21G90 T1 (G90 – програмування в абсолютних координатах, T1 – виклик свердла діаметром 3 мм);

N2G0G54X5Y5S1000M3 (переміщення в початкову точку 1, G54 – зміщення нуля, M3 – увімкнення шпинделя);

N3G43H1Z10 (G43 – компенсація довжини інструменту, H1 – довжина інструменту);

N4Z10 (прискорене переміщення по координаті на Z на відстань 10 мм);

N5G99G81Z-6.5R1F45 (G81 – стандартний цикл свердління, G99 - повернення до точки R в постійному циклі);

N6X10 (свердління отвору 2);

N7X15 (свердління отвору 3);
N8X20 (свердління отвору 4);
N9X5Y10 (свердління отвору 5);
N10X10 (свердління отвору 6);
N11X30Y20 (свердління отвору 7);
N12G80 (G80 – відміна постійного циклу);
N13Z100 (переміщення к Z100);
N14M5 (зупинка шпинделя);
N15G91G28Z0 (повернення до вихідної позиції по Z, G91 – програмування у відносних координатах, G28 – повернення в початкове положення);
N16G28X0Y0 (повернення до вихідної позиції по X і Y);
N17M30 (кінець програми).

Програма для обробки зовнішнього контуру деталі:

N1G0G17G21G90T1 (G90 – програмування в абсолютних координатах, T1 – виклик фрези діаметром 5 мм);
N2G0G54X25Y-27.5S2000M3 (переміщення в початкову точку 1, G54 – зміщення нуля, M3 – увімкнення шпинделя);
N3G43H1Z100 (G43 – компенсація довжини інструменту, H1 – довжина інструменту);
N4Z10 (прискорене переміщення по координаті на Z на відстань 10 мм);
N5G1Z-4F100 (фреза опускається на Z-4 мм при робочій подачі 100мм/хв);
N6G1X-27.5 (лінійне переміщення в точку 2);
N7G1Y20 (лінійне переміщення в точку 3);
N8G2X-20Y27.5R7.5 (переміщення по дузі за годин. стрілкою в точку 4);
N9G1X1.036 (лінійне переміщення в точку 5);
N10G10X27.5Y1.036 (лінійне переміщення в точку 6);
N11G1Y-20 (лінійне переміщення в точку 7);
N12G2X20Y-27.5R7.5 (переміщення по дузі за годин. стрілкою в точку 8);

N13G1Z6 (фреза підіймається до Z6);
N14G0Z100 (фреза підіймається на прискореній подачі до Z100)
N15M5 (зупинка шпинделя);
N16G91G28Z0 (повернення до вихідної позиції по Z, G91 – програмування у відносних координатах, G28 – повернення в початкове положення);
N17G28X0Y0 (повернення до вихідної позиції по X і Y);
N18M30 (кінець програми).

ДОДАТОК 2.5

Програма для чистової обробки кармана:

N1G0G17G21G90 T1 (G90 – програмування в абсолютних координатах, T1 – виклик фрези діаметром 5 мм);
N2G0G54X-2.5Y-2.5S1000M3 (переміщення в початкову точку 1, G54 – зміщення нуля, M3 – увімкнення шпинделя);
N3G43H1Z100 (G43 – компенсація довжини інструменту, H1 – довжина інструменту);
N4Z10 (прискорене переміщення по координаті на Z на відстань 10 мм);
N5G1Z-2F100 (фреза опускається на Z-2 мм при робочій подачі 100мм/хв);
N6G1Y-5 (лінійне переміщення в точку 2);
N7G3X17.5Y0R7.5 (переміщення по дузі в точку 3);
N8G1X10 (лінійне переміщення в точку 4);
N9G3X17.5Y0R7.5 (переміщення по дузі проти годин. стрілки в точку 5);
N10G3X10Y7.5R7.5 (переміщення по дузі в точку 6);
N11G1X-10 (лінійне переміщення в точку 7);
N12G3X-17.5Y0R7.5 (переміщення по дузі в точку 8);
N13G3X-10Y-7.5R-7.5 (переміщення по дузі в точку 9);
N14G1X0 (лінійне переміщення в точку 10);
N15G3X2.5Y-5R2.5 (відвід інструменту по дотичній в точку 11);
N16G1Y-2.5 (лінійне переміщення в точку 12);

N17Z8 (фреза підіймається до Z8);
N18G0Z100 (фреза підіймається на прискореній подачі до Z100);
N19M5 (зупинка шпинделя);
N20M30 (кінець програми).

Програма для чорнової обробки прямокутного кармана:

N1G0G17G21G90 T1 (G90 – програмування в абсолютних координатах, T1 – виклик фрези діаметром 10 мм);
N2G0G54X-13.75Y-3.75S1000M3 (переміщення в початкову точку 1, G54 – зміщення нуля, M3 – увімкнення шпинделя);
N3G43H1Z100 (G43 – компенсація довжини інструменту, H1 – довжина інструменту);
N4Z10 (прискорене переміщення по координаті на Z на відстань 10 мм);
N5G1Z-1F100 (фреза опускається на Z-1 мм при робочій подачі 100мм/хв);
N6G1Y-3.75 (лінійне переміщення в точку 2);
N7G1X13.75 (лінійне переміщення в точку 1);
N8G1Y3.75 (лінійне переміщення в точку 4);
N9G1X-13.75 (лінійне переміщення в точку 1);
N10G1X-17.5Y7.5 (лінійне переміщення в точку 5);
N11G1Y-7.5 (лінійне переміщення в точку 6);
N12G1X17.5 (лінійне переміщення в точку 7);
N13G1Y7.5 (лінійне переміщення в точку 8);
N14G1X-17.5 (лінійне переміщення в точку 5);
N15G1X-25Y15 (лінійне переміщення в точку 9);
N16G1Y-15 (лінійне переміщення в точку 10);
N17G1X25 (лінійне переміщення в точку 11);
N18G1Y15 (лінійне переміщення в точку 12);
N19G1X-25 (лінійне переміщення в точку 9);
N20Z9 (фреза підіймається до Z9);

N21G0Z100 (фреза підіймається на прискореній подачі до Z100);

N22M5 (зупинка шпинделя);

N23M30 (кінець програми).

Програма для фрезерування круглого кармана:

N1G0G17G21G90 T1 (G90 – програмування в абсолютних координатах, T1 – виклик фрези діаметром 10 мм);

N2G0G54X-13.75Y-3.75.5S1000M3 (переміщення в початкову точку 1, G54 – зміщення нуля, M3 – увімкнення шпинделя);

N3G43H1Z100 (G43 – компенсація довжини інструменту, H1 – довжина інструменту);

N4Z10 (прискорене переміщення по координаті на Z на відстань 10 мм);

N5G1Z-0.5F100 (фреза опускається на Z-0.5 мм при робочій подачі 100мм/хв);

N6G1X5F200 (лінійне переміщення в точку 1);

N7G3X-5R5 (кругове переміщення по 1 «орбіті»);

N8G3X5R5 (кругове переміщення по 1 «орбіті»);

N9G1X10F200 (лінійне переміщення в точку 2);

N10G3X-10R10 (кругове переміщення по 2 «орбіті»);

N11G3X10R10 (кругове переміщення по 2 «орбіті»);

N12G1X15F200 (лінійне переміщення в точку 3);

N13G3X-15R15 (кругове переміщення по 3 «орбіті»);

N14G3X15R15 (кругове переміщення по 3 «орбіті»);

N15G1Z10F300 (фреза підіймається до Z10);

N21G0Z100 (фреза підіймається на прискореній подачі до Z100);

N22M5 (зупинка шпинделя);

N23M30 (кінець програми).

ДОДАТОК 2.7

Таблиця 2.3 Координати опорних точок

Точка	Координати по вісі X	Координати по вісі Z
Установ А		
T1	30	105
T2	0	105
T3	30	105
T4	30	50
T5	45	50
T6	25	105
T7	25	80
T8	30	80
T9	45	80
T10	30	90
T11	22	90
T12	45	90
Установ Б		
T13	30	105
T14	0	105
T15	22	105
T16	22	55
T17	30	55
T18	45	55

Таблиця 2.4 Програма точіння

Кадри КП	Пояснення
Установ А	
%	Символ початку програми
N00 (Назва програми);	Номер програми (00) і її назва (...), ; - пропуск кадру
N01G18G21G90G94;	Стрічка безпеки (G18 – площина X Z, G21 - в мм, G90 – в абсолютних координатах, G94 – в мм/об
N02M6T1;	Виклик інструменту №1 (підрізний відігнутий різець T1)
N03M3S185;	Увімкнення обертів шпинделя (185 об/хв)
N04G00X45Z125;	Прискорене переміщення в T0
N05G00X30Z105;	Прискорене переміщення в T1
N06G01X0Z105F0.45;	Переміщення в точку T2 при подачі 0.45 мм/об
N07G00X45Z125;	Прискорене переміщення в T0
N08M5;	Виключення обертів шпинделя
N09M6T2;	Виклик інструменту №2 (прохідний відігнутий різець T2)
N10M3S185;	Увімкнення обертів шпинделя (185 об/хв)
N11G00X30Z105;	Прискорене переміщення в T3
N12G01X30Z50;	Переміщення в точку T4 при подачі 0.45 мм/об
N13G00X45Z50;	Прискорене переміщення в точку T5

N14G00X45Z125;	Прискорене переміщення в T0
N15G00X25Z105;	Прискорене переміщення в T6
N16G01X25Z80;	Переміщення в точку T7 при подачі 0.45 мм/об
N17G01X30Z80;	Переміщення в точку T8 при подачі 0.45 мм/об
N18G00X45Z80;	Прискорене переміщення в T9
N19G00X45Z125;	Прискорене переміщення в T0
N20M5;	Виключення обертів шпинделя
N21M6T3;	Виклик інструменту №3 (канавковий різець T3)
N22M3S185;	Увімкнення обертів шпинделя (185 об/хв)
N23G00X30Z90;	Прискорене переміщення в T10
N24G01X22Z90;	Переміщення в точку T11 при подачі 0.45 мм/об
N25G00X45Z90;	Прискорене переміщення в T12
N26G00X45Z125;	Прискорене переміщення в T0
Установ Б	
N27M6T1;	Виклик інструменту №1 (підрізний відігнутий різець T1)
N28M3S185;	Увімкнення обертів шпинделя (185 об/хв)
N29G00X30Z105;	Прискорене переміщення в T13
N30G01X0Z105F0.45;	Переміщення в точку T14 при подачі 0.45 мм/об
N31G00X45Z125;	Прискорене переміщення в T0
N32M5;	Виключення обертів шпинделя
N33M6T2;	Виклик інструменту №2 (прохідний відігнутий різець T2)
N34M3S185;	Увімкнення обертів шпинделя (185 об/хв)
N35G00X22Z105;	Прискорене переміщення в T15
N36G01X22Z55;	Переміщення в точку T16 при подачі 0.45 мм/об
N37G01X30Z55;	Переміщення в точку T17 при подачі 0.45 мм/об
N38G00X45Z55;	Прискорене переміщення в точку T18
N39G00X45Z125;	Прискорене переміщення в T0
N12M5;	Виключення обертів шпинделя
N13M30;	Завершення програми
%	Символ завершення програми

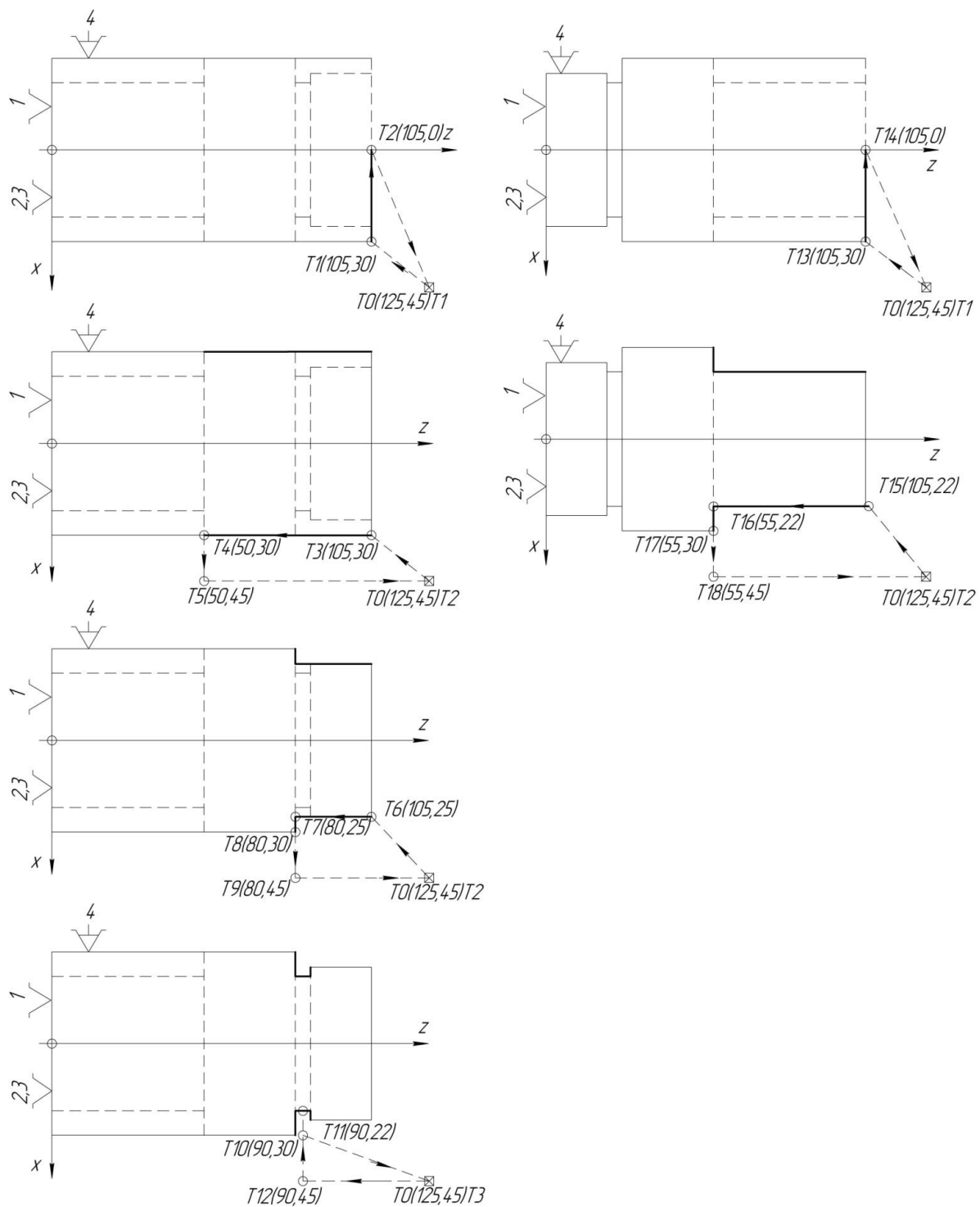


Рис. 2.24 Траєкторії переміщення інструменту

ДОДАТОК 2.8 Класифікація основних методів очистки деталей

Група	Підгрупа	Методи
Механічні без використання охолоджувальних рідин	Абразивні	Абразивний, абразивно-стрічковий
	Ударні	Піскоструминні, пневмодробоструминні, доробометальні, крацувальні
	Галтувальні	Галтувально-абразивний, галтувально-обкатний
	Відцентрові	Відцентрово-абразивний, тербуляційно-обкатні
	Турбуляційні	Турбуляційно-абразивний, турбуляційно-обкатні
	Вібраційні	Віброабразивні, віброобкатні
Хіміко-механічні з використання охолоджувальних рідин	Абразивні	Еластичні, стрічкові, абразивні
	Гідродинамічні	Гідро абразивні, гідрокавітаційно-абразивні, гідравлічні, гідро кавітаційні, гідродробоструминні
	Галтувальні	Галтувально-абразивні
	Відцентрові	Відцентрово-абразивні, відцентрово-кордні
	Турбуляційні	Тербуляційно-абразивні
	Вібраційні	Віброабразивні, віброкордні
Хімічні	Хімічні	Хімічні із зануренням
	Термохімічні	Термохлорові, термокисневі
	Галтувально-хімічні	Галтувально-хімічні
	Турбуляційно-хімічні	Турбуляційно-хімічні, турбуляційно-хіміко-механічні
	Вібраційно-хімічні	Віброхімічні, вібро-хіміко-механічні
Електрохімічні	Електрохімічні із зануренням	Анодні, катодні, електрогідравлічні
	Електрохімічні локальні	Електрохіміко-механічні локальні, електрохіміко-гідравлічні локальні
	Галтувально-електрохімічні	Галтувально-електрохімічні, галтувально-електрохіміко-механічні
	Віброелектрохімічні	Віброелектрохімічні, віброелектрохіміко-

		механічні
Фізичні	Ультразвукові	Ультразвукові-абразивні, ультразвуко-хімічні, ультразвуко-газові
	Електроконтактні	Електроконтактні безперервні, електроконтактні переривчасті
	Імпульсні	Імпульсні електрогідравлічні, імпульсні вибухові